

POLİETİLEN LEVHALARIN SÜRTÜNME KARIŞTIRMA NOKTA KAYNAĞINDA KAYNAK PARAMETRELERİNİN BAĞLANTININ PERFORMANSINA ETKİLERİ

Mustafa Kemal BİLİCİ, Ahmet İrfan YÜKLER, Memduh KURTULMUŞ

Metal Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Marmara Üniversitesi, Göztepe Yerleşkesi 34722, Kadıköy/İstanbul.

mkbilici@marmara.edu.tr, iyukler@marmara.edu.tr, memduhk@marmara.edu.tr

(Geliş/Received: 04.07.2011; Kabul/Accepted: 19.12.2011)

ÖZET

Farklı kaynak parametreleri (takım dönme hızı, takım dalma hızı, takım dalma derinliği, takım dönme süresi ve takım bekleme süresi) ile yüksek yoğunluklu polietilen levhaların sürtünme karıştırma nokta kaynak birleştirmesi gerçekleştirilmiştir. Çekme-makaslama deneyi ile kaynak kopma kuvvetleri tespit edilmiştir. Kaynak takımının dönme hızının, takımın iş parçalarına dalma derinliğinin ve takım dönme süresinin kaynak dikişi oluşumunda ve dolayısıyla kaynak kopma kuvvetinde çok önemli etkileri olduğu tespit edilmiştir. Takım bekleme süresinin kaynak dikişinin kopma kuvvetini arttırdığı tespit edilmiştir. Takım dalma hızının ise kaynak kopma kuvveti üzerinde etkili olmadığı tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler : Polietilen kaynağı, sürtünme karıştırma nokta kaynağı, plastiklerin sürtünme karıştırma nokta kaynağı, sürtünme karıştırma nokta kaynak takımı.

EFFECTS OF FRICTION STIR SPOT WELDING PARAMETERS ON THE WELD FRACTURE LOAD OF HIGH DENSITY POLYETHYLENE SHEETS

ABSTRACT

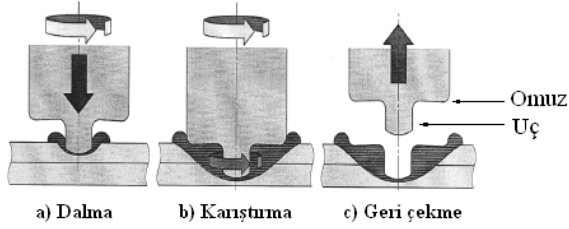
The effects of the different welding parameters (tool rotation speed, tool plunge depth, tool dwell time and delay time) on weld fracture load of friction stir spot welds of high density polyethylene sheets were studied. The properties of friction stir spot welds have been determined to be highly dependent on the welding parameters. The tool rotational speed, tool plunge depth and dwell time were determined to be very important in a joint formation and its weld fracture load. The tool delay time had a positive effect on weld fracture load. The tool plunge rate had a negligible effect on friction stir spot welding of polyethylene sheets.

Keywords: welding of polyethylene, friction stir spot welding, friction stir spot welding of plastics, friction stir welding tool.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Alüminyum otomotiv saçlarının elektrik direnç nokta kaynağı problemlerinden kurtulmak için otomotiv endüstrisinde sürtünme karıştırma nokta kaynak (SKNK) yöntemi geliştirilmiştir [1]. Sadece 10 yıllık geçmişi olan bu kaynak yöntemi, çizgisel kaynak dikişi üreten sürtünme karıştırma kaynağının [2], nokta halinde dikiş üreten bir versiyonudur [3]. SKNK yönteminin uygulama safhaları Şekil 1'de görülmektedir [3]. Kaynak işleminde kullanılan takım, uç ve omuz adı verilen iki kısımdan oluşmaktadır. Belli bir hızda dönen kaynak takımının

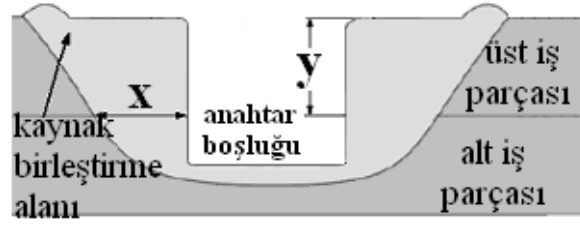
üst üste yerleştirilmiş iş parçalarına belli bir derinliğe kadar dalması, belirlenen derinlikte kaynak takımının belli bir süre dönmesi ve dönme süresi bittiğinde kaynak takımının geri çekilmesi ile iş parçalarının SKNK birleştirmesi gerçekleşir [4]. Yapılan tanımdan anlaşıldığı gibi bu kaynak yönteminin dalma, karıştırma ve geri çekme adı verilen 3 safhası mevcuttur. Karıştırma safhasında kaynak takımının iki malzemeyi belli bir süre karıştırması takım dönme süresi olarak tanımlanmıştır. SKNK'nda dalma ve karıştırma safhalarında kaynak takım ucu ve akım omuzu çevresindeki malzemeleri



Şekil 1. SKNK yönteminin üç safhası: (a) Dalma, (b) Karıştırma ve (c) Geri çekme [3]. (Three phases of friction stir spot welding process, (a) Plunging, (b) Stirring and (c) Retracting).

karıştırmaktadır. Karıştırılan malzemede ise sürtünme sebebi ile ısınma gerçekleşmektedir [2]. Sürtünme ile ısınan malzeme yumuşamaktadır [4]. Takımın dönmesi ile alt ve üst iş parçalarının yumuşamış kısımları birbiri içerisinde karışmaktadır [5]. Takım omuzunun yumuşamış sıcak malzemeye yaptığı basma kuvvetine kaynak kuvveti adı verilmektedir [6]. Kaynak kuvvetinin tesiri ile yumuşamış metalik malzeme katı halde birleşmekte ve kaynak dikişini oluşturmaktadır [2]. Tipik bir metal SKNK kesiti Şekil 2’de şematik olarak görülmektedir [7]. Bu şekildeki koyu kısımlar iki iş parçasını birleştiren kaynak çekirdeğini ifade etmektedir. Birleştirilen alt ve üst iş parçaları, birleştirmeyi sağlayan kaynak birleştirme alanı (kaynak dikişi) ve kaynak takım uç geometrisine bağlı olarak oluşan karakteristik anahtar boşluğu Şekil 2’de detaylı olarak gösterilmiştir. Ayrıca kaynak dikişinin 2 önemli boyutunun olduğu Şekil 2’de görülmektedir. Alt ve üst iş parçalarının temas ettiği düzlemde dikişin kalınlığı (x) ve iş parçaların temas düzlemi üzerinde kalan dikiş yüksekliği (y) dikişin çok önemli iki boyutudur. Bu iki boyut kaynak kopma kuvvetini doğrudan tayin etmektedir [8-11].

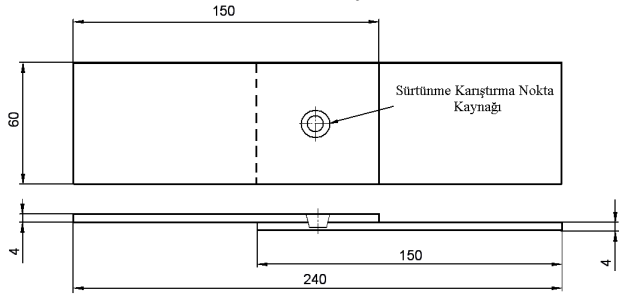
Bu iki boyuttan dikiş kalınlığının kaynak kopma kuvveti üzerindeki etkisi daha fazla olmaktadır [10]. Dikiş kalınlığı, kendisi ile aynı düzlemde olan daire halkası şeklindeki kaynak birleştirme kesit alanının boyutunu direkt olarak tayin etmektedir. Dikiş kalınlığı arttıkça kaynak birleştirme kesit alanı büyüdüğünden dikişin yük taşıma kapasitesi artmakta ve buna bağlı olarak kaynak kopma kuvveti yükselmektedir [8]. Dikiş yüksekliği azaldıkça kaynak kopma kuvveti düşmektedir [9]. Şekil 2’de kaynak dikişinin takım omuz sınırlarından bir miktar malzeme taşması yaptığı da görülmektedir. Bu taşan malzeme üst parçanın üzerinde halka halinde bulunur. SKNK yöntemi başarı ile alüminyum [12], magnezyum [13] ve çelik [14] saçlara uygulanmaktadır. Plastik malzemelerin hem sürtünme karıştırma kaynak [15-18], hem de sürtünme karıştırma nokta kaynak özellikleri hakkında çok az yayın mevcuttur [19-21]. Bu nedenle polietilen levhaların sürtünme karıştırma nokta kaynak özellikleri üzerinde araştırma yapılmıştır. Bu makalede sadece SKNK parametrelerinin etkileri incelenmiştir.



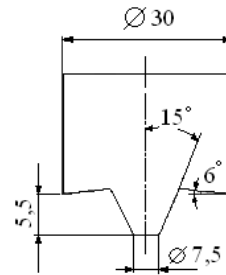
Şekil 2. Bir sürtünme karıştırma nokta kaynağının kesidi. x: Dikiş kalınlığı ve y: dikiş yüksekliği [7]. (Schematic illustration of the cross section of a friction stir spot weld. x: nugget thickness, y: the thickness of the upper sheet)

2.DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL PROCEDURES)

Bu çalışmada 4 mm kalınlıkta yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) levhalar kullanılmıştır. Bu levhalardan çekme-makaslama kaynak deney numuneleri kesilmiştir. Deney numunelerinin boyutu ve bunlara uygulanan kaynak Şekil 3’de şematik olarak görülmektedir. Deneylerde kullanılan SAE 1040 çeliğinden üretilmiş ve 40 R_c sertliğine ısıl işlem ile sertleştirilmiş kaynak takımı ise Şekil 4’de görülmektedir. Kaynak parametreleri ve çalışma aralıkları Tablo 1’de özetlenmiştir.



Şekil 3. Çekme-makaslama numunesinin şematik boyutları (Configuration of the lap-shear test specimen)

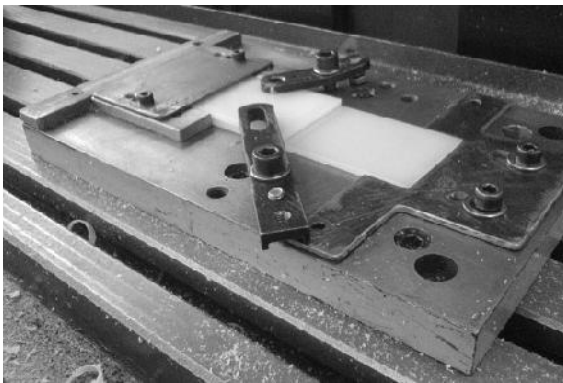


Şekil 4. Kaynak takımının kesidi (A magnified cross sectional view of the tool).

Tablo 1. Kaynak parametreleri ve çalışma aralıkları. (Welding parameters and their ranges).

Parametreler	Birim	Aralık
Takım dönme hızı	devir / dakika (d/d)	280 – 1400
Takım dalma hızı	milimetre/saniye (mm/s)	0,3 – 2,2
Takım dalma derinliği	milimetre (mm)	5,7 – 7,0
Takım dönme süresi	saniye (s)	8 – 90
Takım bekleme süresi	saniye (s)	0 – 60

Kaynak işlemleri üniversal freze tezgahında gerçekleştirilmiştir. Kaynak birleştirme noktasının çekme-makaslama numunesinin tam ortasında teşekkül etmesi için bir bağlama kalıbı kullanılmıştır. Bu kalıp sayesinde bütün deneylerin kaynak işlemleri standart halde gerçekleştirilmiştir. Bağlama kalıbının fotoğrafı Şekil 5’ de gösterilmiştir. Bütün kaynak işlemleri oda sıcaklığında yapılmıştır. Takım dalma hızı deneyleri hariç diğer bütün kaynak işlemlerinde takım dalma hızı 0,3 mm/s olarak sabit tutulmuştur. İlk olarak sıcaklık deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde kaynak dönme süresinin bitmesi ile birlikte kaynak takımı geri çekilmiş ve kaynak dikişinin sıcaklığı infraruj termometre ile 10 cm mesafeden ölçülmüştür. Daha sonra çekme makaslama numunelerinin kaynakları yapılmıştır. Bu kaynaklarda dönme süresi biter bitmez takım durdurulmuştur. Takım bekleme süresi deneyleri hariç bütün kaynaklarda 30 saniye beklendikten sonra takım geri çekilmiştir. Takım bekleme süresi deneylerinde ise takım bekleme süresi 0-60 saniye arasında değiştirilmiştir. Her deney koşulunda 6 adet kaynak numunesi hazırlanmıştır. Çekme-makaslama deneyleri oda sıcaklığında Instron çekme cihazında gerçekleştirilmiştir. Bütün deneylerde çekme hızı 5 mm/s olarak sabit tutulmuştur. Aynı şartlarda kaynaklanan 5 numunenin testlerinden elde edilen kaynak kopma kuvvetlerinin basit aritmetik ortalaması alınmıştır. Çekme-makaslama deneyinden elde edilen ortalama kaynak kırılma sonucu makale içerisinde kaynak kopma kuvveti olarak belirtilmiştir. Kaynak bölgesi boyutlarını tayin etmek için çekme makaslama numunelerin ortasından 30 µm kalınlıkta ince bir film tabakası çıkartılmıştır. Bu numuneler Leica R6125 model mikrotorm ile kesilmiştir. İki cam arasına yerleştirilen ince film tabakaları 12,88X büyütmede VSC-5000 model video spektral komprator yardımı ile fotoğrafları alınmıştır.



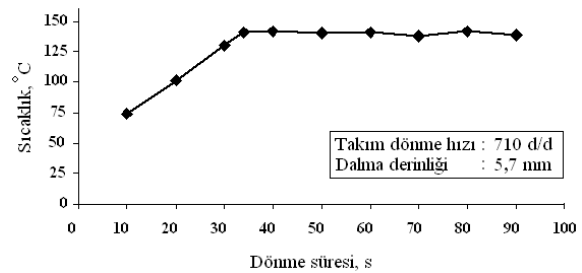
Şekil 5. Bağlama kalıbına yerleştirilmiş çekme-makaslama kaynak numuneleri. (The clamping fixture and a lap-shear specimen).

3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION)

Deney sonuçları aşağıda grafiklerle gösterilmiştir. Her deney grubunda sadece bir kaynak parametresi değişken olarak incelenmiştir. Sabit tutulan kaynak parametreleri her deney grubuna ait grafiğini gösteren şekilde belirtilmiştir. Bir kaynak parametresinin kaynak dikişi kesidi üzerindeki etkisi fotoğraflar ile gösterilmiştir. Kesit deneylerinin kaynak parametreleri ile ilgili kaynak kopma kuvveti grafiğindeki kaynak parametreleri özdeştir.

Şekil 6’da takım dönme süresinin kaynak dikiş sıcaklığı üzerindeki tesiri görülmektedir. Dönme süresi uzadıkça malzemede sürtünme ısı arttığından [4] malzeme sıcaklığı artmıştır. Malzeme sıcaklığı 34 saniye dönme süresine kadar artmıştır. Bu sürede sıcaklık 142 °C olmuştur. Dönme süresi 34 saniyeden 90 saniyeye kadar uzatılması halinde sıcaklığın sabit kaldığı görülmüştür. Polietilenin ergime sıcaklığı 131 °C [22] olduğundan kaynak takımının çevresindeki plastiğin kaynak sırasında ergidiği anlaşılmaktadır. Metallerde katı hal kaynak birleştirme yapan SKNK yönteminin plastiklerde ise ergimeye yol açtığı Şekil 6’da açıkça görülmektedir. Kaynak takım ucunun çevresinde çok daha yüksek malzeme sıcaklığının oluştuğu da ölçülmüştür [20].

Şekil 7’ de kaynak takımının dönme süresinden sonra kaynak bölgesinde takım bekleme süresinin dikiş oluşumu üzerindeki etkisi görülmektedir. Kaynak dönme süresi biter bitmez takımın geri çekilmesi halinde sıvı haldeki malzeme takım boşluğunu doldurmaktadır (Şekil 7a). Takımın 30 saniye beklemeden sonra geri çekilmesi halinde sıvı malzeme katılaşmakta ve dikişin içerisinde takım uç geometrisine bağlı olarak karakteristik anahtar deliği oluşmaktadır (Şekil 7b).

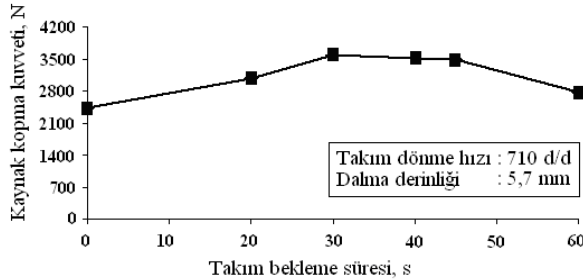


Şekil 6. Takım dönme süresinin malzeme sıcaklığı üzerindeki etkisi (The effect of dwell time on weld zone temperature).



Şekil 7. Takım bekleme süresinin kaynak dikişi oluşumundaki etkisi. (a) Beklemesiz kaynak ve (b) 30 saniye beklemeli kaynak. (The effect of tool retracting delay on weld cross section, (a) No delay and (b) 30 seconds delay)

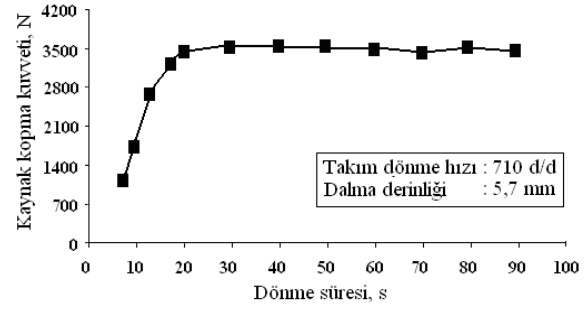
Takım bekleme süresi dikiş geometrisi üzerinde etkili olduğu kadar kaynak kopma kuvveti üzerinde de etkili olduğu Şekil 8’ de görülmektedir. Takım bekleme süresi sıfır olan kaynağın kopma kuvveti düşük olmaktadır. Takım bekleme süresi arttıkça kaynak kopma kuvveti yükselmektedir. Yüksek kaynak kopma kuvveti elde etmek için takım bekleme süresi 30-45 saniye arasında olmalıdır. Takım bekleme süresinin 45 saniyenin üzerine çıkması halinde kaynak kopma kuvvetinde düşme görülmektedir. Takım bekleme süresi metallerin SKNK birleştirilmelerinde uygulanmamaktadır [12-14]. Ancak bu kaynak parametresinin polietilende etkili olduğu Şekil 8’ de açıkça görülmektedir. Metaller için geçerli olmayan bu kaynak parametresinin diğer termoplastik malzemelerin SKNK birleştirilmelerinde önemli olacağı tahmin edilmektedir.



Şekil 8. Takım bekleme süresinin kaynak kopma kuvveti üzerindeki etkisi. (The effect of tool staying time in the weld zone after the stirring phase on the weld fracture load.).

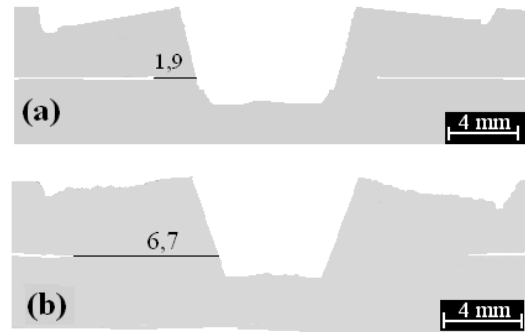
Şekil 9’da kaynak dönme süresi ile kaynak kopma kuvveti arasındaki ilişki görülmektedir. Kaynak süresi 8 saniyeden 20 saniyeye kadar artması halinde kaynak kopma kuvveti hızla artmıştır. 20-30 saniye kaynak sürelerinde kopma kuvveti az miktarda artış göstermiştir. Dönme süresinin 30 saniyeden daha uzun tutulması halinde kaynak kopma kuvvetinde artış görülmemiştir.

Takım dönme süresinin kaynak dikişi üzerindeki tesiri de Şekil 10’da görülmektedir. Kaynak dikiş kalınlığı 13 saniye dönme süresinde 1,9 mm olurken 50 saniyede 6,7 mm genişlikte dikiş elde edilmiştir.



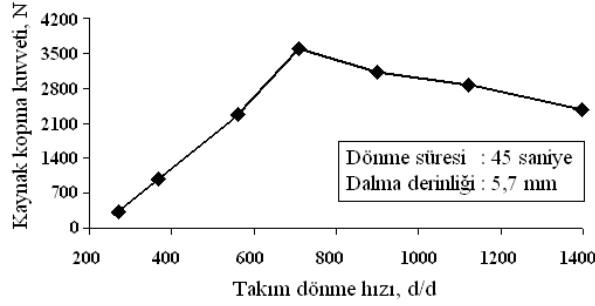
Şekil 9. Takım dönme süresinin kaynak kopma kuvveti üzerindeki etkisi (The effect of dwell time on the weld fracture load).

Kaynak dönme süresi uzadıkça oluşan sürtünme ısı artmış [3], dikiş kalınlığı büyümüş ve kaynak dayanımı yükselmiştir [4]. Kaynak dikiş kalınlığı arttıkça iş parçalarının temas ettiği düzlemde dikiş kesit alanı büyümektedir. Metallerde kaynak kopma kuvveti dikiş kesit alanı ile doğrusal ilişkilidir [23]. Benzeri ilişkinin polietilen içinde geçerli olduğu görülmektedir. Bu nedenle dönme süresinin 30 saniyenin altında olması halinde düşük dayanımlı kaynak kopma kuvveti elde edilmektedir.



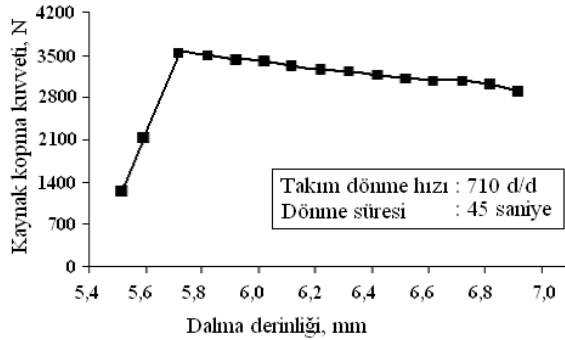
Şekil 10. Takım dönme süresinin kaynak dikiş kalınlığı üzerindeki tesiri. (a) 13 saniye dönme ve (b) 50 saniye dönme süresi (The effect of the dwell time on the joint cross section, (a) 13 seconds dwell time and (b) 50 seconds dwell time).

Şekil 11’de takım dönme hızının kaynak kopma kuvveti üzerindeki tesiri görülmektedir. Dönme hızı 280 d/d olduğunda malzemede yetersiz sürtünme ısı oluşmakta [4] ve dolayısıyla ufak boyutlu dikiş elde edildiğinden kaynak kopma kuvveti çok düşük olmaktadır. Takım dönme hızı arttıkça malzemede üretilen sürtünme ısı artmakta ve kaynak kopma kuvveti yükselmektedir. Takım hızı 710 d/d olunca en büyük kopma kuvveti elde edilmektedir. Takım dönme hızı 710 d/d üzerine çıktığında ise kaynak kopma kuvveti düşmektedir. SKNK birleşmesi sırasında kaynak bölgesinde kalıntı gerilmeler oluşmaktadır [6]. Bu gerilmelerden bilhassa üst iş parçasında oluşan gerilmeler kaynak kopma kuvvetini olumsuz etkilemektedir. Takım dönme hızı arttıkça üst iş parça kalıntı gerilmeleri artmaktadır [6]. Bu sebeple takım dönme hızı 710 d/d üzerine çıktıkça kaynak kopma kuvveti azalmaktadır.



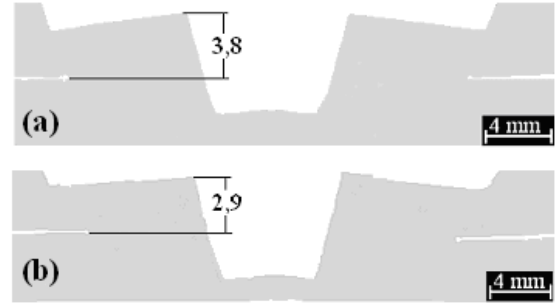
Şekil 11. Takım dönme hızının kaynak kopma kuvveti üzerindeki etkisi (The effect of tool rotational speed on the weld fracture load).

Şekil 12'de takım dalma derinliğinin kaynak kopma kuvvetine etkisi görülmektedir. 5,7 mm'den daha az dalma derinliklerinde takım omuzunun iş parçası ile yaptığı sürtünme yetersiz kaldığından oluşan sürtünme ısı az olmaktadır [6]. Yetersiz ısı ufak kaynak dikişi oluşturduğundan kaynak kopma kuvveti düşüktür [11]. Optimum dalma derinliği 5,7 mm olmaktadır. Dalma derinliği 5,7 mm'den daha fazla oldukça elde edilen kaynak kopma kuvveti düşmektedir. Kaynak dalma derinliğinin kaynak dikişine tesiri Şekil 13'de görülmektedir. Şekil 13'deki her iki kaynak kesidinde dikiş kalınlığı hemen hemen eşittir. Önemli fark kaynak dikişi yüksekliğindedir. 5,7 mm dalma derinliğinde 3,8 mm olan yükseklik, 6,7 mm dalma derinliğinde sadece 2,9 mm olmaktadır. Dikiş yüksekliği azaldıkça kaynak kopma kuvveti düştüğünden [8] 5,7 mm dalma derinliği optimum olmaktadır.



Şekil 12. Takım dalma derinliğinin kaynak kopma kuvveti üzerindeki etkisi (The effect of tool plunge depth on the weld fracture load).

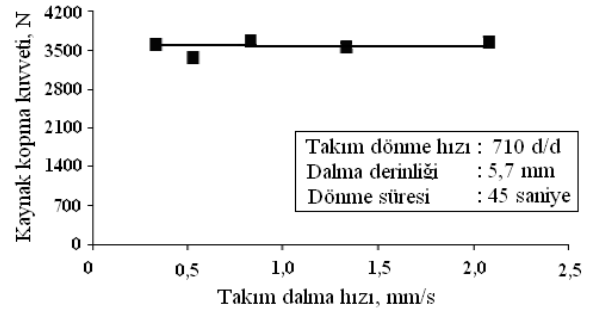
Şekil 11 ve Şekil 12'deki kaynak kopma kuvveti düşmesinin diğer bir sebebi de mekanik bölünmedir [24]. Sıcaklığı yüksek sıvı termoplastik malzemelerin şekillendirilmesi sırasında uygulanan kalıp basıncının da yüksek olması halinde malzemenin moleküler ağırlığında azalma olmaktadır [25]. Mekanik bölünme adı verilen bu olay termoplastik malzeme dayanımını azaltmaktadır [26]. Kaynak bölgesindeki sıvı polietilene kaynak takımının yaptığı basma gerilmesi kaynak dikişi moleküler ağırlığında



Şekil 13. Takım dalma derinliğinin kaynak dikiş yüksekliğine tesiri (The effect of plunge depth on joint cross section).

azalmaya yol açtığından kaynak kopma kuvveti düşmektedir [27]. Aşırı sürtünme ısı oluşturulan ekstrem kaynak parametreleri (aşırı yüksek takım dönme hızı ve takım dalma derinliği) ile kaynak birleştirilmesi yapılması halinde kaynak bölgesinde mekanik bölünme etkin olarak kaynak kopma kuvvetini düşürmektedir.

Takım dalma hızının kaynak kopma kuvveti üzerindeki tesiri Şekil 14'de görülmektedir. Bu deneylerde takım dalma hızı 0,3 mm/s değerinden 2,2 mm/s değerine kadar değiştirilmesine rağmen kaynak kopma kuvvetinde belirgin bir değişim gözlenmemiştir. Elde edilen sonuçlar kaynak kopma kuvvetinin sabit kaldığını göstermektedir. Bu nedenle polietilenin SKNK birleştirmesinde takım dalma hızının önemsiz olduğu sonucuna varılmaktadır.



Şekil 14. Takım dalma hızının kaynak kopma kuvveti üzerindeki etkisi (The effect of tool plunge rate on the weld fracture load).

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Yüksek mukavemetli polietilen levhaların sürtünme karıştırma nokta kaynağı deneylerinden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Kaynak takımı çevresindeki malzeme ergimiştir.
2. Takım dönme hızı, dalma derinliği ve dönme süresi kaynak dikiş oluşumunu ve kaynak kopma kuvvetini etkilemektedir. Yüksek kaynak kopma kuvveti elde edebilmek için bu üç kaynak parametresi optimum değerde olmalıdır. Kullanılan kaynak takımına bağlı olarak optimum kaynak parametreleri 710 d/d dönme hızı, 5,7 mm takım dalma derinliği ve 30 saniye dönme süresi olarak tespit edilmiştir.

3. Takım dönme süresinin bitmesinden sonra 30-45 saniye beklendikten sonra kaynak takımı geri çekilmelidir.
4. Takım dalma hızının kaynak kopma kuvveti üzerinde etkin olmadığı tespit edilmiştir.
5. Aşırı sürtünme ısısı oluşturan kaynak parametreleri ile çalışılması halinde kaynak dikişinde mekanik bölünme gerçekleşmekte ve kaynak kopma kuvveti azalmaktadır

5. TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Yazarlar, FEN-DKR-270306-0053 nolu proje kapsamında verdiği destekten ötürü, Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkürlerini sunarlar.

6. KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Hancock, R., "Friction welding of aluminium cuts energy cost by 99%", **Welding Journal**, Cilt 83, 40, 2004.
2. Mishra, RS., Ma, ZY., "Friction stir welding and processing", **Materials Science and Engineering**, Cilt 50, 1-78, 2005.
3. Awang, M., Mucino, VH., Feng, Z., David, S.A., "Thermo-Mechanical Modeling of Friction Stir Spot Welding (FSSW) Process: Use of an Explicit Adaptive Meshing Scheme", **SAE International Paper**, 01 1251-1256, 2005.
4. Ma, N., Kunugia, A., Hirashima, T., Okubo, K., Kamioka, M., "FEM Simulation for friction spot joining process", **Welding International**, Cilt 23, No 1, 9-14, 2009.
5. Yang, Q., Mironov, S., Sato, YS., Okamoto, K., "Material flow during friction stir spot welding", **Materials Science and Engineering A**, Cilt 527, No 16, 4389-4398, 2010.
6. Bozzi, S., Helbert, AL., Baudin, T., Klosek, V., Kerbiguet, JG., Criqui, B., "Influence of FSSW parameters on fracture mechanisms of 5182 aluminium welds", **Journal of Materials Processing Technology**, Cilt 210, 1429-1435, 2010.
7. Gerlich, A., Su, P., North, TH., Bendzsak, GJ., "Friction stir spot welding of aluminum and magnesium alloys", **Materials Forum**, Cilt 29, 290-294, 2005.
8. Tozaki, Y., Uematsu, Y., Tokaji, K., "Effect of processing parameters on static strength of dissimilar friction stir spot welds between different aluminium alloys", **Fatigue & Fracture Engineering Materials Structures**, Cilt 30, 143-148, 2007.
9. Badarinarayan, H., Shi, Y., Li, X., Okamoto, K., "Effect of tool geometry on hook formation and static strength of friction stir spot welded aluminum 5754-O sheets", **International Journal Machine Tools & Manufacture**, Cilt 49, 814-823, 2009.
10. Badarinarayan, H., Yang, Q., Zhu, S., "Effect of tool geometry on static strength of friction stir spot welded aluminum alloy", **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, Cilt 49, 142-148, 2009.
11. Karthikeyan, R., Balasubramanian, V., "Predictions of the optimized friction stir spot welding process parameters for joining AA2024 aluminum alloy using RSM", **International Journal Advance Manufacture Technology**, Cilt 51, 173-183, 2010.
12. Fratini, L., Barcellona, A., Buffa, G., Palmeri, D., "Friction stir spot welding of AA6082-T6: Influence of the most relevant process parameters and comparison with classic mechanical fastening techniques", **Engineering Manufacture**, Cilt 221, 1111-1118, 2007.
13. Yin, YH., Sun, N., North, TH., Hu, SS., "Hook formation and mechanical properties in AZ31 friction stir Spot welds", **Journal Materials Processing Technology**, Cilt 210, 2062-2070, 2010.
14. Khan, MI., Kuntz, ML., Su, P., Gerlich, A., North, T., Zhou, Y., "Resistance and friction stir spot welding of DP 600: A comparative study", **Science and Technology of Welding and Joining**, Cilt 12, 175-182, 2007.
15. Arıcı, A., Sınnmaz, T., "Effect of double passes of the tool on friction stir welding of polyethylene", **Journal of Materials Science**, Cilt 40, 3313-3316, 2005.
16. Arıcı, A., Şelale, S., "Effects of tool tilt angle on tensile strength and fracture locations of friction stir welding of polyethylene", **Science and Technology of Welding and Joining**, Cilt 12, 536-539, 2007.
17. Squeoi, EA., Bruno, G., Guglielmott, A., Quadrini, F., "Friction stir welding of polyethylene sheets", **The Annals of Dunarea de Jos University of Galati, Technologies in Machine Building**, Cilt 5, 241-246, 2009.
18. Aydın, M., "Effects of welding parameters and preheating on the friction stir welding of UHMW-polyethylene", **Polymer-Plastics Technology and Engineering**, Cilt 49, 595-601, 2010.
19. Arıcı, A., Mert, S., "Friction stir spot welding of polypropylene", **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, Cilt 1, 1-4, 2008.
20. Oliveria, PHF., Filho, STA., Santos, JF., Hage, E., "Preliminary study on the feasibility of friction spot welding in PMMA", **Materials Letters**, Cilt 64, 2098-2101, 2010.
21. Bilici MK., Yüklere, AI., Kurtulmuş, M., "The optimization of welding parameters for friction stir spot welding of high density polyethylene sheets", **Materials Design**, 32, 4074- 4079, 2011.
22. Peacock, AJ., "Handbook of Polyethylene, Marcel Decker Inc, New York, A.B.D., 2000.

23. Santella, ML., Grant, GJ., Feng, Z., Hovanski, Y., "Friction stir spot welding of advanced high strength steel", **FY Progress Report**, Oak Ridge National Laboratory, 2006.
24. Costa, HM., Ramos, VD., Rocha, MCG., "Rheological properties polypropylene during multiple extrusion", **Polymer Testing**, Cilt 24, 86-93, 2005.
25. Smith, AP., Spontek, RJ., Ade, H., "On the similarity of macromolecular responses to high energy processes: mechanical milling v.s. irradiation", **Polymer Degradation and Stability**, Cilt 72, 519-524, 2001.
26. Capone, C., Landro, LD., Inzoli, F., Penco, M., Sartore, L., "Thermal and mechanical degradation during polymer extrusion processing", **Polymer Engineering and Science**, Cilt 47, 1813-1819, 2007.
27. Gan, YX., Solomon, D., Reinbolt, M., "Friction stir processing of particle reinforced composite materials", **Materials**, Cilt 3, 329-350, 2010.

