

## Takım Geometrisinin Yüksek Yoğunluklu Polietilenin Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağına Tesiri

Mustafa Kemal BİLİCİ\*, Ahmet İrfan YÜKLER, Memduh KURTULMUŞ  
Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü/ İSTANBUL  
Alınış Tarihi:26.05.2011, Kabul Tarihi25.10.2011

**Özet:** Bu çalışmada yüksek yoğunluklu polietilen levhaların sürtünme karıştırma nokta kaynak birleştirmesinde kullanılan kaynak takım geometrisinin dikiş oluşumu ve kaynak mukavemeti üzerindeki etkileri incelenmiştir. Kaynaklar oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Kaynak sırasında oluşan kaynak kuvvetinin ölçümü yapılmıştır. Kaynak dikiş makroyapı incelemesi yapılmıştır. Çekme-makaslama deneyi ile kaynak mukavemeti belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonunda takım uc profiline, uc boyutunun, omuz çapının ve omuz açısının etkileri deneysel olarak tespit edilmiştir. 4 mm kalınlıktaki levhalar için optimum kaynak takım geometrisi saptanmıştır.

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

### Effect of the Tool Geometry on High Density Polyethylene Friction Stir Spot Welding

**Abstract:** The effect of the tool geometry on friction stir spot welding of high density polyethylene sheets was studied. All the welding operations were done at the room temperature. Welding force of the tool was measured during the welding operation. Weld cross section appearance observations were done. Lap-shear tests were carried out to find the weld static strength. From the experiments the effect of the pin profile, pin size, shoulder diameter and shoulder angle were determined. The optimum tool geometry was determined for 4.0 mm thick sheets.

**Key words:** Polyethylene welding, friction stir spot welding, polymer friction stir welding, polymer friction stir welding tool.

### Giriş

Alüminyum saçların elektrik direnç nokta kaynak hata oluşum sorunlarından kurtulmak için otomotiv endüstrisinde geliştirilen sürtünme karıştırma nokta kaynak (SKNK) yöntemi başarı ile alüminyum (Fujimoto vd., 2009), magnezyum (Yin vd., 2010), ve çelik saçlara (Khan vd., 2007) uygulanmaktadır. Bu kaynak yönteminde sabit hızda dönen kaynak takımı üst üste sıkıca yerleştirilmiş olan metal iş parçalarında belli bir derinliğe dalmaktadır. Bu derinlikte belli bir süre dönen takım daha sonra geri çekilmektedir. Bu işlemler sırasında iki iş parçası arasında SKNK birleşmesi gerçekleşmektedir (Lin ., 2008). SKNK işleminde kullanılan kaynak takım uç ve omuz adı verilen iki kısımdan oluşur (Mishra ve Ma, 2005). Dönmekte olan kaynak ucu, çevresindeki malzemenin kendisi ile hareket etmesini sağlar. Takım ucunun dönme hareketi malzemede sürtünme ısısı oluşturur, ısınan malzemeyi deforme eder ve üst-alt iş parçalarının ısınan kısımlarını birbirine karıştırır (Gerlich vd., 2005).

Takım omuzu ise üst iş parçasına daldıktan sonra temas ettiği malzemede sürtünme ısısı oluşturur, ısınan metale dövme etkisi yapar ve kaynak bölgesine kaynak kuvveti adı verilen düşey basma kuvveti uygular, ısınan metalin takım çevresinde hareket etmesine yardım eder ve hareket eden sıcak metalin kaynak bölgesinden fırlarak dışarı çıkmasına engel olur (Yang vd., 2010). Tipik bir SKNK kesidi Şekil 1' de şematik olarak görülmektedir (Gerlich vd., 2007). Elde edilen kaynak dikişin kalınlığı (x), alt ve üst iş

parçalarının kaynak birleştirme kesit alanının göstergesidir. Dikiş parçaların temas ettiği düzlemdeki kaynak dikiş kalınlığının büyük olması kaynak kesit alanının büyük olduğunu gösterir. Metallerin SKNK mukavemeti kaynak kesit alanı ile doğru orantılı olarak değişmektedir (Santella vd., 2006). Kaynak takımının geometrisi SKNK dikiş oluşumunda çok büyük rol oynamaktadır (Tozaki vd., 2007, Badarinarayan vd., 2009, Külekçi vd., 2008, Hirasawa vd., 2010). Uygun olmayan takım geometrisi ve kaynak şartları ile SKNK birleştirmesi yapılması halinde kaynak hataları oluşmakta ve düşük mukavemetler elde edilmektedir (Rajakumar vd., 2011). Plastik malzemelerin SKNK özellikleri hakkında çok az yayın mevcuttur (Arıcı ve Mert., 2008, Oliveria vd., 2010, Bilici vd., 2011). Bu nedenle bu makalede polietilen SKNK özellikleri araştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda sadece takım geometrisinin etkileri incelenmiştir. Plastiklerin SKNK birleştirmelerinde takım geometrisini inceleyen tek bir makale mevcuttur (Bilici ve Yukler., 2012).



Şekil 1. Bir sürtünme karıştırma nokta kaynağının kesidi.  
x: Dikiş kalınlığı (Gerlich vd., 2005).

\* [mkbilici@marmara.edu.tr](mailto:mkbilici@marmara.edu.tr)

## DeneySEL Çalışmalar

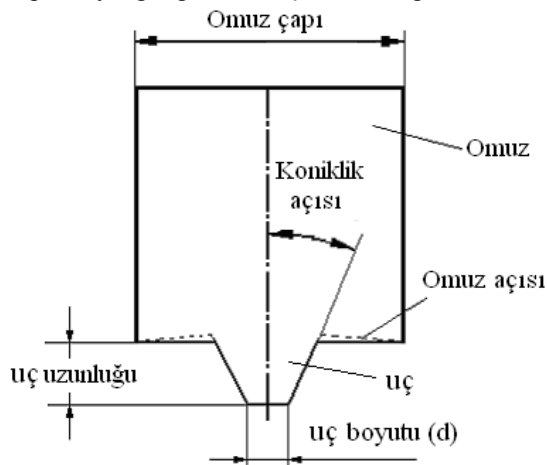
Bu çalışmada 4 mm kalınlıkta yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) levhalar kullanılmıştır. Bu malzemenin mekanik özellikleri Çizelge 1'de gösterilmiştir.

**Çizelge 1.** Deneylerde kullanılan YYPE levhaların çekme deneyi özellikleri.

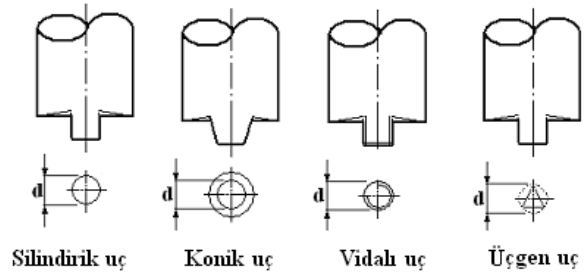
Akma mukavemeti Mpa	Çekme mukavemeti Mpa	% Uzama
22	35	50

Bu levhalardan 150x60 mm boyutunda çekme makaslama numuneleri kesilmiştir. Kaynak işleminde kullanılan takımın geometrik detayı Şekil 2'de görülmektedir. Kaynak takımları SAE 1040 çeliğinden üretilmiş ve 40 R<sub>c</sub> sertliğine ısıtılma işlemiyle sertleştirilmiştir.

Kaynakta kullanılan 4 adet farklı uç profiline sahip takım ise Şekil 3'de görülmektedir. Bütün takımın uç uzunluğu 5,5 mm'dir. Farklı uc çapı, omuz çapı ve omuz açısına sahip konik takım kullanılmıştır. Bütün konik takımlarda koniklik açısı olarak 15° olarak sabit tutulmuştur. Konik takım dışındaki takımlarda omuz çapı 30 mm, omuz açısı 6° ve koniklik açısı sıfır seçilmiştir. Silindirik takımın çapı 7,5 mm'dir. Üçgen takım ise döndüğünde 7,5 mm çaplı bir daire oluşturacak eşkenar uzunlukta üçgen keside sahiptir. Vidalı takım elde etmek için 8 mm çaplı uca önce standart M8 diş açılmıştır. Daha sonra tornalama yapılarak ucun dış çapı 7,5 mm'ye indirilmiştir. Kaynak işlemleri bir universal freze tezgahında oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Kaynak öncesi çekme makaslama numuneleri 60x60 mm olacak şekilde bir biri üzerine yerleştirilmiştir. Bindirme yapılan alanın tam ortasına kaynak yapılmıştır. Elde edilen tipik kaynağın görüntüsü Şekil 4'de görülmektedir.



**Şekil 2.** Kaynak işleminde kullanılan çelik takımın genel görüntüsü



**Şekil 3.** Kaynak işleminde kullanılan uçların profilleri.  
d: Uç boyutu

Bütün kaynaklarda takım dönme hızı 710 d/d, takım dönme süresi 45 saniye, takımın dalma hızı 0,33 mm/s ve takım omuzunun üst iş parçasına dalma derinliği 0,2 mm olarak sabit tutulmuştur. 45 saniyelik dönme süresi dolunca takımın dönmesi derhal durdurulmuştur. 30 saniye beklendikten sonra takım geri çekilmiştir. Her kaynak koşulunda 6 numune hazırlanmıştır. Kaynak yaparken KISTLER 9443B dinamometre platformu ile KISTLER 5019B amplifikatör kullanılarak kaynak takımının kaynak bölgesine uyguladığı aksel basma kuvveti ölçülmüştür. Kaynak kuvveti olarak adlandırılan bu kuvvetin kaynak işlemi sırasındaki değişiminin grafiği elde edilmiştir.

Çekme makaslama deneyleri oda sıcaklığında Instron çekme cihazında gerçekleştirilmiştir. Bütün deneylerde çekme hızı 5 mm/s olarak sabit tutulmuştur. Aynı şartlarda kaynaklanan 5 numunenin test sonuçlarının basit aritmetik ortalaması alınarak kaynak mukavemeti tespit edilmiştir.

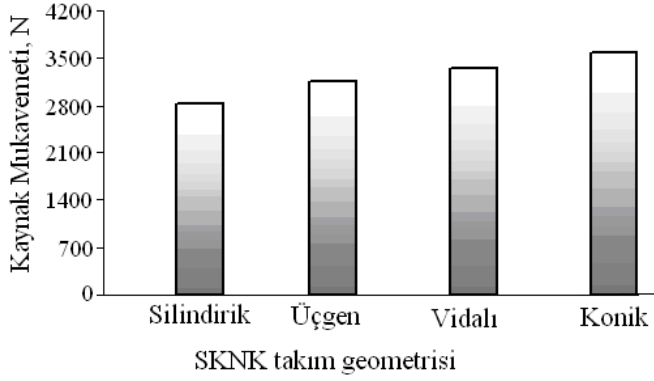


**Şekil 4.** Yapılan SKNK'nın genel görüntüsü.

## DeneySEL Sonuçlar

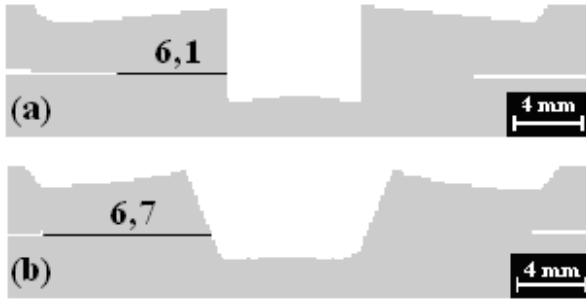
Takım uç profilinin kaynak mukavemeti üzerindeki tesiri Şekil 5'de görülmektedir. Bu deneylerde kullanılan bütün takımın uç profili hariç diğer geometrik özellikleri aynıdır. Konik takımın taban çapı 7,5 mm'dir. Böylece uç profilinin mukavemet üzerindeki bütün tesirleri ortaya çıkarılmıştır. En büyük kaynak mukavemeti konik uca (3858 N) elde edilirken

en düşük mukavemet ise silindirik uca (2790 N) elde edilmiştir.

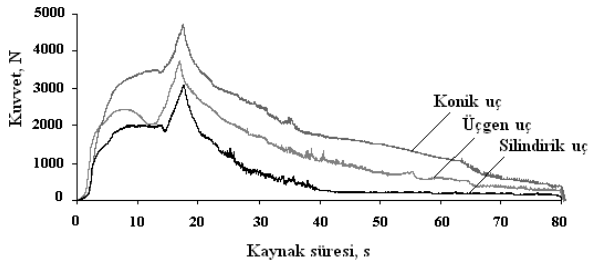


Şekil 5. Takım uç profillerinin kaynak mukavemetine etkisi.

Bu iki ekstrem mukavemet sonucunu veren dikişlerin kesidi ise Şekil 6'da görülmektedir. Silindirik ucun dikiş kalınlığı 6,1 mm ölçülmüştür. Konik ucun dikiş kalınlığı ise 6,7 mm olmuştur.

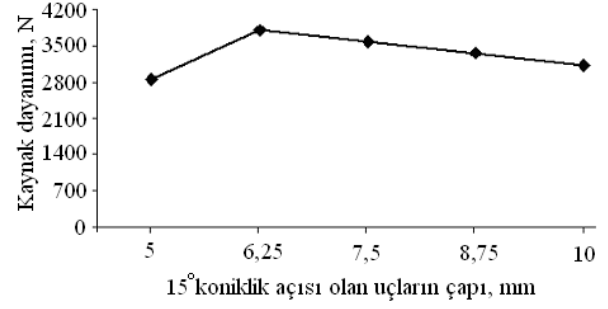


Şekil 6. SKNK dikiş genişliği. (a) Silindirik uç ve (b) Konik uç



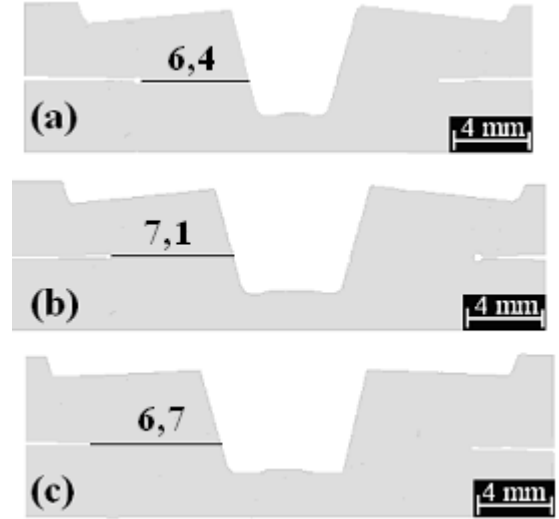
Şekil 7. Farklı takımlara ait kaynak kuvvet dağılımı.

Konik, üçgen ve silindirik uclu takımlarda kaynak kuvvetinin dağılımı Şekil 7'de görülmektedir. Bütün uçlarla kaynak yapılırken maksimum kaynak kuvveti takım dalma işleminin bittiği anda elde edilmektedir. Konik ucun kaynak kuvveti silindirik uca nazaran %20 kadar daha

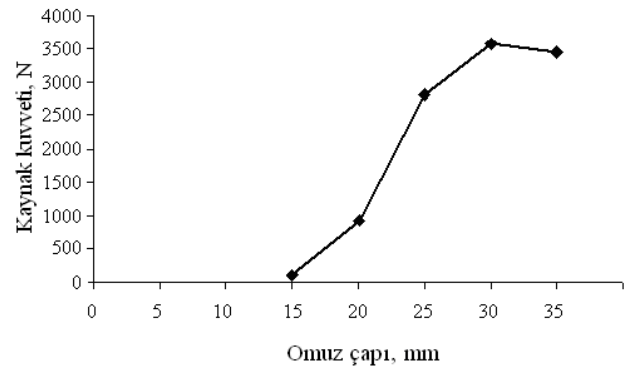


Şekil 8. Takım koniklik açısı kaynak kuvvetine etkisi

Yüksek olduğu görülmektedir. Kaynağın dönme safhasında kaynak kuvveti sürekli olarak azaldığı bütün grafiklerde görülmektedir. Konik uçlu takımlarda, uç çapının tesirini bulmak için taban çapı 5-10 mm arasında değişen takımlar hazırlanmıştır. Bu takımlarda omuz çapı 30 mm ve omuz açısı 6° sabit tutulmuştur. Farklı çaplardaki takımlar ile elde edilen kaynaklara ait kaynak mukavemet değerleri Şekil 8'de ve dikiş kesit görüntüleri ise Şekil 9'de görülmektedir. En düşük kaynak mukavemeti ve dikiş kalınlığı 5,0 mm çaplı uç ile elde edilmiştir. En büyük



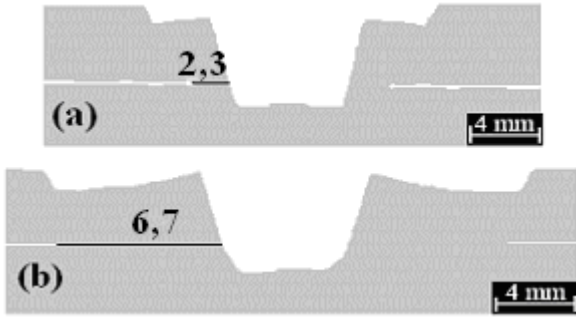
Şekil 9. 15° Konik takım uc çapının kaynak dikiş kesidine etkisi (a) 5 mm çaplı takım, (b) 6,25 mm çaplı takım ve (c) 7,5 mm çaplı takım dikiş kalınlığına sahip 6,25 mm çaplı uçta en yüksek kaynak mukavemeti elde edilmiştir. Uc çapı 6,25 mm'yi geçtikçe kaynak mukavemetinin ve dikiş kalınlığının azaldığı tespit edilmiştir.



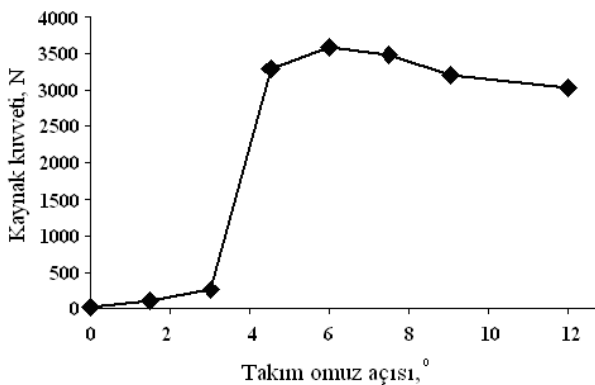
Şekil 10. Takım omuz çapının tesirleri.

Takım omuz çapının tesirleri Şekil 10 ve Şekil 11'de görülmektedir. Bu deneylerde 7,5 mm taban çaplı konik takımlar kullanılmıştır. Bütün takımlarda omuz açısı  $6^\circ$  olmuştur. Omuz çapı 15 mm'den 30 mm'ye büyüdükçe kaynak mukavemeti kaynak dikişinin kalınlığına paralel olarak artmaktadır. Takım çapı 30 mm'nin üzerine çıktığında ise kaynak mukavemetinde düşme görülmektedir.

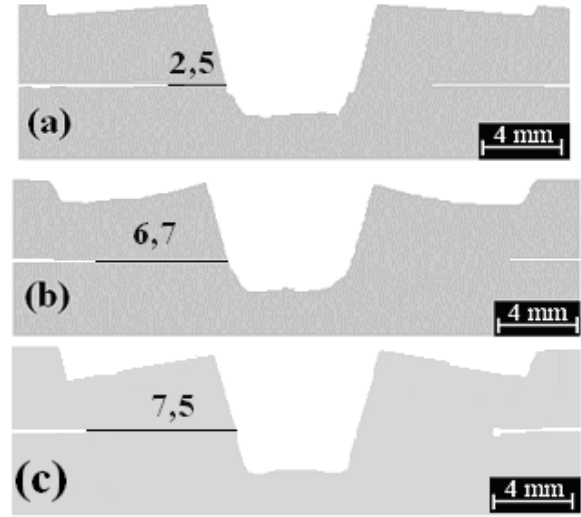
Kaynak takımı omuz açısının kaynak mukavemeti üzerindeki etkisi Şekil 12 ve dikiş kalınlığı üzerindeki etkisi ise Şekil 13'de görülmektedir. Bu deneylerde 7,5 mm taban çaplı konik takımlar kullanılmıştır. Bütün takımlarda omuz çapı 30 mm olmuştur. Omuz açısı  $3^\circ$  olan takımda çok küçük dikiş kalınlığı (2,5 mm) elde edildiğinden çok küçük kaynak mukavemeti elde edilmiştir. Omuz açısı  $3^\circ$ 'nin üzerine çıktıkça kaynak mukavemeti artmış ve  $6^\circ$  açı için en büyük mukavemet değeri elde edilmiştir. Bu takımın kaynağında dikiş kalınlığı 6,7 mm ölçülmüştür. Omuz açısı  $6^\circ$ 'den daha büyük oldukça kaynak mukavemeti azalmıştır. Omuz açısı  $12^\circ$  olan takımın kaynağında dikiş kalınlığı 7,5 mm olarak ölçülmüştür. Bu takımın dikiş kalınlığı  $6^\circ$  açılı takımdan daha büyük olmasına rağmen kaynak mukavemeti daha düşük olmuştur.



Şekil 11. Takım omuz çapının dikiş genişliğine etkisi. (a) 15 mm omuz çaplı takım, (b) 30 mm omuz çaplı takım.



Şekil 12. Takım omuz açısının kaynak kuvvetine etkisi.



Şekil 13. Takım omuz açısının kaynak dikişine etkisi. (a)  $3^\circ$  omuz açılı takım, (b)  $6^\circ$  omuz açılı takım, (c)  $12^\circ$  omuz açılı takım.

## Tartışma

Bu çalışmada takım geometrisi ilgili 4 değişkenin (uç profili, uç çapı, omuz çapı ve omuz açısı) polietilenin SKNK özellikleri üzerindeki tesirleri ortaya çıkarılmıştır. Yapılan deneylerin hepsinde bahis konusu değişkenin dikiş oluşumunda ve dolayısıyla kaynak mukavemeti üzerinde etkili olduğu bulunmuştur. Konik uçlu takımın konik olmayan uçlu takımlara nazaran daha fazla mukavemet verdiği (Şekil 5) tespit edilmiştir. Takım uç çapının (Şekil 8), omuz çapının (Şekil 10) ve omuz açısının (Şekil 12) optimum seçilmesi halinde ise maksimum mukavemet elde edildiği saptanmıştır. Takım geometri değişkenleri optimum değeri altına inmesi veya üstüne çıkması halinde elde edilen mukavemet değerlerinin düştüğü görülmektedir. Optimum değerinin altında kalan uç geometrilerinin çok küçük dikiş kalınlığı ve kaynak mukavemeti verdiği görülmüştür (Şekil 6, 9, 11 ve 13). Takım geometrik boyutlarının tesirleri takım ucu ve takım omuzu olarak ayrı ayrı olarak aşağıda irdelenmiştir.

Şekil 5'de takım uç profilinin kaynak mukavemetine tesiri görülmektedir. Konik uç en yüksek kaynak mukavemetini verirken silindirik uç en düşük kaynak mukavemetine sahip olmuştur. Uç profilinin, kaynak bölgesinde oluşturduğu kaynak kuvvetlerinde farklı olduğu Şekil 7'de görülmektedir. Konik uç en yüksek kaynak kuvvetini ve silindirik uç en düşük kaynak kuvvetini oluşturmaktadır. Kaynak kuvveti kaynak bölgesinde oluşan kaynak ısısını direkt olarak etkilemektedir (Awang vd., 2010). Yüksek kaynak kuvveti, konik takım ile daha fazla sürtünme ısısı oluşturulmasını sağlamaktadır (Ma vd., 2009). Bu nedenle konik takımın kaynağında dikiş kalınlığı daha büyük olmaktadır (Şekil 6). Konik takımın kaynak kesit alanı daha büyük olduğundan maksimum mukavemet elde edilmektedir. Plastiklerin SKNK birleştirmelerinde, takım kuvvetinin kaynak dikişini oluşumu üzerindeki tesirini açıklayan tek makalede

(Bilici, 2012) de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Aynı kaynak şartları ile metallere kaynak yapılması halinde, kaynak kuvveti fazla olan kaynak işlemleri ile daha kalın dikiş ve daha yüksek kaynak mukavemeti elde edilmektedir (Hirasawa vd., 2010). Kaynak dikiş kalınlığının kaynak mukavemeti üzerindeki etkisi Şekil 8 ve 9'da açıkça görülmektedir. 5,0, 6,25 ve 7,5 mm çaplı konik uçların kaynak makroyapıları Şekil 9'de görülmektedir. En büyük dikiş kalınlığı 6,25 mm çaplı uçta oluşurken, en küçük dikiş kalınlığı 5,0 mm çaplı uçta elde edilmiştir. Bu kaynakların mukavemeti de dikiş kalınlığına bağlı olarak değişim göstermektedir (Şekil 8). En büyük mukavemet en kalın dikişte elde edilmektedir. Vida dişli uca ait kaynağın mukavemeti silindirik uçlu takım kaynağından yüksek olmuştur (Şekil 6). Vida dişli uca koniklik verilmesi, uygun çap ve diş geometrisi elde edilmesi halinde metallerde çok yüksek kaynak mukavemeti elde edilmiştir (Chowdhury vd., 2010, Chowdhury vd., 2010). Bu nedenle plastiklerin SKNK işlemlerinde vida dişli uçlar üzerinde daha geniş bir çalışmanın yapılması gerektiğini düşündürmektedir.

Kaynak takım omuzu kaynak sırasında oluşan sürtünme ısısını önemli oranda etkilediği bilinmektedir (Mishra ve Ma, 2005). Omuz çapı arttıkça sürtünme ısı ve dolayısıyla dikiş kalınlığı arttığından kaynak mukavemeti yükselmektedir (Şekil 10 ve 11). Optimum omuz çapı Şekil 10'da 30 mm olarak tespit edilmiştir. Bu deneylerde polietilen için optimum omuz çapının uç çapına oranı 4:1 bulunmuştur. Bu oran metallerin 3:1 oranından (Rajakumar vd., 2011) daha yüksek olmuştur. Omuz açısının dikiş oluşumunda çok önemli etkisi olduğu Şekil 12'de görülmektedir. Bu açının değeri 3°'nin altında olması halinde ısınan malzeme fişkırmakta ve çok küçük bir dikiş elde edildiği görülmüştür. Omuz açısı 4° nin üzerine çıkınca yüksek kaynak mukavemeti elde edilmiştir. Omuz açısı arttıkça dikiş kalınlığının arttığı ise Şekil 13'de görülmektedir. Optimum omuz açısı 6° bulunmuştur. Omuz açısı 12° olduğunda çok daha geniş kaynak dikişi elde edilmesine rağmen düşük mukavemet elde edilmiştir (Şekil 12). Mukavemet düşmesinin ana sebebi mekanik bölünmedir (Smith vd., 2001). Kaynak bölgesinde ergiyen polietilene kaynak takımının uyguladığı basma gerilmesi dikişte moleküler ağırlıkta azalmaya yol açtığından (Lim vd., 2004) kaynak mukavemeti azalmaktadır (Capone vd., 2007).

## **Sonuçlar**

Farklı geometriye sahip takımlar ile 4mm kalınlıktaki yüksek yoğunluklu polietilen levhalara yapılan SKNK birleştirme deneylerinden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

\* Kaynak takımının uç profili, uç boyutu, omuz çapı ve omuz açısı dikiş oluşumunda ve kaynak mukavemeti üzerinde çok önemlidir.

\*6,25 mm uç çapına, 30 mm omuz çapına, 6° omuz açısına ve 15° uç açısına sahip olan konik takımın optimum takım geometrisine sahip olduğu saptanmıştır.

\*Takım geometri değişkenlerinin optimum seçilmediği koşullarda kaynak mukavemeti düşmektedir.

\*Kaynak dikişinin genişliği, kaynak mukavemeti üzerinde çok büyük tesire sahiptir. Dikiş kalınlığı küçük olan kaynakların mukavemetide düşük olmaktadır.

\* Kaynak bölgesinde aşırı sürtünme ısısı oluşturan kaynak geometrisi kaynak dikişinde mekanik bölünmeye yol açarak kaynak mukavemetini düşürmektedir.

## **Kaynaklar**

Arıcı, A., Mert, S. 2008. Friction stir spot welding of polypropylene. Journal Reinforced Plastics and Composite, 27: 2001-2004.

Awang, M., Mucino, V.H., Feng, Z., David, S.A. 2005. Thermo – mechanical modeling of friction stir spot welding (FSSW) process: use of an explicit adaptive meshing scheme. SAE International, 01, 1251-1256.

Badarinarayan, H, Shi, Y, Li, X, Okamoto, K. 2009. Effect of tool geometry on hook formation and static strength of friction stir spot welded aluminum 5754-O sheets. International Journal Machine Tools Manuf acture, 49, 814-823.

Bilici, M.K., Yüklükler, A.İ., M, Kurtulmuş., 2011. The optimization of welding parameters for friction stir spot welding of high density polyethylene sheets. Materials Design, 32, 4074-4079.

Bilici, M.K., Yukler, A.İ. 2012. Influence of tool geometry and process parameters on macrostructure and static strength in friction stir spot welded polyethylene sheets. Materials and Design 33, 145- 152.

Capone, C., Landro, L.D., Inzoli, F., Penco, M., Sartore, L., 2007. Thermal and mechanical degradation during polymer extrusion processing", Polymer Engineering and Science, Cilt 47,

Chowdhury, S.M., Chen, D.L., Bhole SD, Cao, X. 2010. Tensile properties of a friction stir welded magnesium alloy: Effect of pin tool thread orientation and Weld pitch. Materials Science Engineering A, 527, 6064-6075.

Chowdhury,, S.M., Chen, D.L., Bhole, S.D., Cao, X. 2010. Effect of pin tool thread orientation on fatigue strength of friction stir welded AZ31B-H24 Mg butt joints. Procedia Engineering, 2, 825-833.

- Fujimoto, M., Koga, S., Abe, N., Sato, Y.S., Kokawa, H. 2009. Microstructural analysis of the stir zone of Al alloy produced by friction stir spot welding. *Welding International*, 23 (6), 403- 410.
- Gerlich, A., Su, P., North, T.H., Bendzsak, G.J. 2005. Friction stir spot welding of aluminum and magnesium alloys. *Material Forum*, 29, 290-294.
- Gerlich A, Yamamoto M, North TH. 2007. Local melting and cracking in Al 7075-T6 and Al 2024-T3 friction stir spot welds. *Science Technology Welding Joining*, 12(6), 472-480.
- Hirasawa, S., Badarinarayan, H., Okamoto, K., Tomimura, T., Kawanami, T. 2010. Analysis of effect of tool geometry on plastic flow during friction stir spot welding using particle method. *Journal of Materials Processing Technology*, 210, 1455-1463.
- Khan, M.I., Kuntz, M.L, Su, P., Gerlich, A., North, T., Zhou, Y. 2007. Resistance And friction stir spot welding of DP 600: A comparative study. *Science Technology Welding and Joining*, 12, 175-182.
- Kulekçi, M.K., Şık, A., Kaluç, E. 2008. Effects of tool rotation and pin diameter on fatigue properties of friction stir welded lap joints. *International Journal Advance Manufacture Technology*, 36, 877- 882.
- Lim, S.T, Kim, C.A, Chung, H, Choi, H.J, Sung, J.H. 2004. Mechanical degradation kinetics of polythelene oxide in a turbulent flow. *Korea-Australia rheology Journal*, 2, 57-62.
- Lin, P.C., Pan, J., Pan, T. 2008. Failure modes and fatigue life estimations of spot friction welds in lap-shear specimens of aluminium 6111-T4 sheets. Part 2: Welds made by a flat tool. *International Journal Fatigue*, 30, 90-105.
- Ma, N., Kunugia, A., Hirashima, T., Okubo, K., Kamioka, M. 2009. FEM Simulation for friction spot joining process. *Welding International*, 23, 9.
- Mishra, R.S, Ma, Z.Y. 2005. Friction stir welding and processing. *Materials Science Engineering*, 50, 1-78.
- Oliveria, P.H.F., Filho, S.T.A., Santos, J.F., Hage, E. 2010. Preliminary study on the feasibility of friction spot welding in PMMA . *Materials Letter*, 64: 2098–2101.
- Rajakumar, S., Muralidharan, C., Balasubramanian, V. 2011. Influence of friction stir welding process and tool parameters on strength properties of AA7075-T6 aluminium alloy joints *Materials Design*, 32, 535-549.
- Santella, M.L., Grant, G.J., Feng, Z., Hovanski, Y., 2006. Friction stir spot Welding of advanced high strength steel”, FY Progress Report, Oak Ridge National Laboratory.
- Smith, A.P., Spontek, R.J., Ade, H. 2001. On the similarity of macromoleculer responses to high energy processes: mechanical milling v.s. irradiation, *Polymer Degradation and Stability*. 72, 519-524.
- Tozaki, Y., Uematsu, Y., Tokaji, K. 2007. Effect of tool geometry on microstructure and static strength in friction stir spot welded aluminium alloys. . *International Journal Machine Tools Manufacture*, 47, 2230-2236.
- Yang, Q., Mironov, S., Sato, Y.S., Okamoto, K. 2010. Material flow during friction stir spot welding. *Materials Science Engineering A*, 527, 4389-4398.
- Yin, Y.H., Sun, N., North, T.H., Hu, S.S. 2010. Hook formation and mechanical properties in AZ31 friction stir Spot welds. *Journal of Materials Processing Technology*, 210 (14), 2062-2070.