



Fikret Sönmez

Karşıyaka Tüpraş MTAL, sonmezfikret@gmail.com, Kocaeli-Turkey

Hüdayim Başak

Gazi University, hbasak@gazi.edu.tr, Ankara-Turkey

Şehmus Baday

Batman University, sehmus.baday@batman.edu.tr, Batman-Turkey

DOI	http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2018.13.1.2A0131		
ORCID ID	0000-0003-1718-892X	0000-0001-8066-5384	0000-0003-4208-8779
CORRESPONDING AUTHOR	Şehmus Baday		

SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAK İŞLEMİ SONRASI UYGULANAN HADDELEME İŞLEMİNİN İÇ SERTLİK DEĞİŞİMİNE ETKİSİNİN MATEMATİKSEL OLARAK MODELLENMESİ

Öz

Bu çalışmada, sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirilmiş, Al-7075 malzemelerin kaynak merkezinin üst yüzeyinden içeriye doğru gösterdiği mikro sertlik değişimi ile haddeme işleminin bu değişime etkisi incelenmiştir. Bu sebeple farklı deney şartları uygulanan malzemelerin en üst yüzeyinden başlayarak 0.8mm derinliğe kadar sertlik ölçümleri yapılmıştır. Bu malzemelerden gerek haddelenmiş olanlar gerek se haddeme işlemine tabi tutulmamış olan malzemelerden alınan ölçüm sonuçları, matematiksel olarak modellenmiştir. Farklı matematiksel modellerle yapılan analizlerde haddelenmiş malzemelerde $0.98R^2$ değeri elde edilmiştir. Sonuç olarak iç sertlik ölçümlerinin matematiksel olarak modellendiği bu çalışmada başarılı tahminlerin elde edildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Sürtünme Karıştırma Kaynağı, Haddeme, Matematiksel Modelleme, Al-7075, Kaynak

MATHEMATICAL MODELING OF INTERNAL HARDNESS CHANGE IN THE PARTS OF THE BURNISHING PROCESS AFTER THE FRICTION STIR WELDING OPERATION

ABSTRACT

In this study, this change effect of the rolling process was investigated by the change of microhardness of the Al-7075 material, which was combined with the Friction Stir Welding method, from the upper surface of the weld center to the inside. For this reason, hardness measurements were made from the top surface of the materials subjected to different test conditions to a depth of 0.8mm. The measurement results from materials that have not been burnished, or burnished, have been modeled mathematically. In the analyzes made with different mathematical models, $0.98R^2$ values were obtained in the burnished materials. As a result, it is seen that the internal hardness measurements are mathematically modeled and that successful estimates are obtained in this study.

Keywords: Friction Stir Welding, Burnishing, Mathematical Modeling, Al-7075, Weld

How to Cite:

Sönmez, F., Başak, H. ve Baday, Ş., (2018). Sürtünme Karıştırma Kaynak İşlemi Sonrası Uygulanan Haddeme İşleminin İç Sertlik Değişimine Etkisinin Matematiksel Olarak Modellenmesi, *Technological Applied Sciences (NWSATAS)*, 13(1):9-18, DOI:10.12739/NWSA.2018.13.1.2A0131.



1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sürtünme Karıştırma Kaynak (SKK) işlemi bir katı hal kaynak yöntemi olarak 1991 yılında bulunmuş katı hal temelli bir birleştirme yöntemidir [1]. SKK yönteminin ana prensibi birleştirilecek malzemelerin ergime sıcaklığı altında bir araya getirilmesidir. Birleştirme işlemi sürtünme ısısı üreten omuzlu bir takım ile yapılmaktadır [1 ve 3]. Bu işlem yapılırken ilave dolgu malzemesi veya koruyucu gaz gibi teknik ihtiyaçlar bulunmamaktadır. Birleştirme işlemi sürtünme ısısı temelli olduğundan ısı girdisi ana kaynak parametresidir. Ergitme temelli kaynak metodlarında görülen yüksek ısı SKK yönteminde meydana gelmemektedir [1 ve 5]. Böylelikle ısıya bağlı mekanik zayıflıklar SKK yönteminde daha az görülmektedir [4]. SKK işlemi, öncelikle Alüminyum alaşımların, sonrasında da diğer hafif alaşımların birleştirilmesinde kullanılmıştır. Bu yöntem ile polimerler ve alaşımlı çelikler dahil birçok farklı malzeme başarı ile birleştirilebilmektedir [2 ve 7].

Makine parçalarını istenen yüzey özelliklerine getirmek için sonlandırma operasyonları kullanılmaktadır [7 ve 10]. Bu sonlandırma operasyonlarının başında bir talaşlı imalat yöntemi olan taşlama işlemi gelmektedir. Haddelme işlemi ise talaş kaldırmaksızın yapılan bir yüzey sonlandırma operasyonu olarak öne çıkmaktadır. Haddelme yönteminde genel olarak yüzey pürüzlülüğünde azalış ve yüzey sertliğinde artış gözlenmektedir [7 ve 10]. Bununla birlikte haddelme yöntemi aşınma direncinin artması, yorulma dayanımının gelişmesi [7 ve 8], ovalliğin giderilmesi [9] gibi olumlu etkilere de sahiptir. Yöntem bilyeli veya makaralı bir ezicinin belirli bir kuvvet ile malzeme yüzeyini ezmesi prensibini temel almaktadır [7 ve 12]. Matematiksel modeller deney yolu ile elde edilen verilere dayanılarak oluşturulmaktadır [13 ve 14]. Bu modeller belirli parametrelere dayanarak deneysel sonuçları tahmin etmektedirler. Oluşturulan modeller sonraki deneysel çalışmalara yardımcı olmakta ve parametrelerin ağırlığını ortaya koymaktadır. Eğri uyurma algoritmaları bir matematiksel model olarak deney sonuçlarının analizinde kullanılmaktadırlar [15 ve 17].

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Çeşitli kaynak yöntemleri ile birleştirilen parçalar belirli bir kaynak başarımına sahiptir. Yapılan çalışmalarda ana amaç, birleştirilen parçaların ana malzeme kadar dayanıklı olmasının sağlanmasıdır. Bu amaçla malzemeler ikincil operasyonlara tabi tutulmaktadır. Bu çalışma ile SKK yöntemi ile birleştirilen Al-7075 malzemelere ikincil operasyon olarak haddelme işlemi uygulanmıştır. SKK metodu sonrasında Haddelme işleminin uygulanması ile elde edilen mikro sertlik sonuçlarının analizi amaçlanmıştır. Analiz işlemi için farklı matematiksel modeller kullanılarak en uygun modelin araştırılması hedeflenmiştir. Bu sayede parametrelerin etkinliği ve modelin tahmin yeteneği araştırılmıştır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL METHOD)

Bu çalışmada kimyasal bileşimi Tablo 1'de görülen Al-7075 malzeme kullanılmıştır. Bu malzeme yüksek teknik özellikleri ile Alüminyum alaşımlar için önemli kullanım alanına sahiptir.

Tablo 1. Al-7075 malzemenin kimyasal bileşimi
(Table 1. Chemical composition of Al-7075 material)

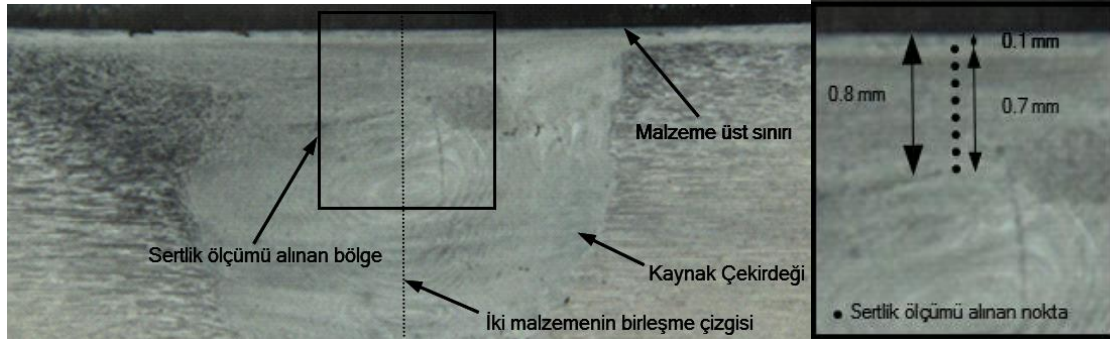
	Cu	Zn	Mg	Si	Mn	Fe	Cr	Ti	Diğer	Al
Ortalama %	1.6	5.6	2.5	0.4	0.3	0.5	0.18	0.2	0.15	Kalan

SKK ile birleştirilecek Al-7075 malzemeler 300x100x5mm ölçülerine getirilmiştir. Al-7075 malzemeler TAKSAN APS II 400 (FU 400x600V/2) tezgahında 70mm/dk sabit ilerleme hızı ile birleştirilmiştir. Birleştirme işlemleri sırasında kaynak takımı iki farklı devir ile (710dev/dk ve 1000dev/dk) birleştirme işlemini gerçekleştirmiştir. Haddelendirme işlemleri SMARC marka kalıpcı freze tezgahında gerçekleştirilmiştir. Haddelendirme işleminde kullanılan parametreler Tablo 2’de görülmektedir. Haddelendirme esnasında makaraların sıkışma kontrolleri yapılmış ve makine yağı ile yağlanması sağlanmıştır.

Tablo 2. Haddelendirme parametreleri
(Table 2. Burnishing parameters)

İşlem Parametresi	Değeri
İlerleme Hızı	46 mm/dk
Takım Devri	660 dev/dk
Haddelendirme Kuvveti	1000 dev/dk

Yapılan SKK ve haddelendirme işlemlerinin ardından Al-7075 malzemeler için Şekil 1’de görüldüğü gibi kaynak merkezinin en üst noktasından başlayarak 0.1mm aralıklarla 0.8mm derinliğe kadar mikro sertlik ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler için Shimadzu HMV marka mikrosertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır. Ölçümler Mikro-Vickers sertlik skalasına göre yapılmış, batma kuvveti HV 0.1(100g) olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Mikro-Vickers Sertlik ölçümlerinin alındığı bölge
(Figure 1. Micro-Vickers hardness measurement area)

Al-7075 malzemelerden farklı devir ve haddelendirme durumuna göre 4 farklı deney seti ve bu set için kullanılan kodlar Tablo 3’de görülmektedir.

Tablo 3. Malzemeler için yapılan kodlama
(Table 3. Coding for materials)

Deney Numarası	Takım Devri	Haddelendirme Durumu	Kodu
1	710 dev/dak	Haddelenememiş Malzeme	710-NB
2	710 dev/dak	Haddelenmiş Malzeme	710-B
3	1000 dev/dak	Haddelenememiş Malzeme	1000-NB
4	1000 dev/dak	Haddelenmiş Malzeme	1000-B

4. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSIONS)

Yapılan Mikro-Vickers sertlik ölçümleri sonrasında elde edilen deneysel sonuçlar Tablo 4’de görülmektedir.



Tablo 4. Mikro-Vickers sertlik ölçüm sonuçları [18]
(Table 4. Micro-Vickers hardness measurement results [18])

Kodu	Ölçüm Numaraları/Sonuçlar (HV0.1)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
710-NB	150	148	152	145	146	143	142	148
710-B	185	170	164	157	159	156	154	155
1000-NB	159	149	158	156	157	153	156	156
1000-B	174	160	148	153	148	156	154	148

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen Mikro-Vickers sertlik değerleri ile bu sertlik değerini etkileyen parametreler matematiksel olarak modellenmiştir. Yapılan modellemede 8 ayrı eğri uyurma fonksiyonu kullanılmış bazı modellerde fonksiyon değişkenleri de değiştirilerek en yüksek R^2 (düzeltilmiş) değeri hedeflenmiştir. Bununla birlikte oluşturulan matematiksel modellerde R^2 , R^2 (düzeltilmiş), hata kareler toplamı (SSE) ve artık kareler toplamı da (RMSE) beraber araştırılmıştır. Bu çalışmada toplam 15 matematiksel model kullanılarak modellerin performansı araştırılmıştır. Sonuçların analizinde ve eğri uyurma algoritmaları temel alınarak oluşturulan matematiksel modellerin elde edilmesinde MATLAB paket programı kullanılmıştır.

4.1. Haddelenmiş Parçalar İçin Yapılan Matematiksel Modelleme (Mathematical Modeling For Burnished Parts)

Yapılan deneysel çalışma sonucunda elde edilen veriler kullanılarak haddelenmiş malzemeler için yapılan modelleme sonucunda elde edilen sonuçlar Tablo 5’de görülmektedir.

Tablo 5. Haddelenmiş parçalar için oluşturulan matematiksel modeller ve elde edilen sonuçlar

(Table 5. Mathematical models and results obtained for burnished parts)

Model Türü	Değişken Sayısı	SSE		R^2		R^2 Düzeltilmiş		RMSE	
		710-B	1000-B	710-B	1000-B	710-B	1000-B	710-B	1000-B
Exponential	1	184.5	311.9	0.7628	0.4212	0.7233	0.3247	5.546	7.21
Exponential	2	10.91	82.96	0.986	0.846	0.9755	0.7306	1.652	4.554
Fourier	1	38.48	318.2	0.9505	0.4095	0.9135	-0.03346	3.101	8.92
Gaussian	1	184.6	311.9	0.7628	0.4212	0.6679	0.1897	6.076	7.898
Gaussian	2	10.91	38.83	0.986	0.9279	0.9509	0.7478	2.336	4.406
Linear	1	61.83	225.2	0.9205	0.5821	0.8887	0.4149	3.517	6.711
Polynom	1	198.6	317.2	0.7448	0.4115	0.7022	0.3134	5.753	7.27
Polynom	2	38.48	181.4	0.9505	0.6633	0.9308	0.5286	2.774	6.024
Polynom	3	14.23	40.34	0.9817	0.9251	0.968	0.869	1.886	3.176
Polynom	4	9.844	38.78	0.9873	0.928	0.9705	0.8321	1.811	3.595
Polynom	5	8.606	38.65	0.9889	0.9283	0.9613	0.749	2.074	4.396
Power	1	41.85	191.7	0.9462	0.6443	0.9372	0.585	2.641	5.652
Power	2	12.66	92.58	0.9837	0.8282	0.9772	0.7595	1.591	4.303
Sum of sine	1	198.6	317.2	0.7447	0.4114	0.6426	0.716	6.302	7.965
Sum of sine	2	55.62	40.29	0.9285	0.9252	0.7498	0.7383	5.274	4.488

Tablo 5 incelendiğinde 710 devir ile birleştirilmiş parçalarda (710-B) oluşturulan matematiksel modellerin oldukça yüksek R^2 (düzeltilmiş) değerine ulaştığı görülmektedir. Özellikle Exponential (iki değişkenli), Fourier (iki değişkenli), Gaussian (iki değişkenli), Polinom (üç, dört ve beş değişkenli), Power (iki değişkenli), Rational (iki değişkenli) ile yapılan matematiksel modellerde R^2 (düzeltilmiş) değeri 0.95 değerinin üstüne çıkmıştır. Yapılan 15 model ile yapılan analizlerde en düşük R^2 (düzeltilmiş) değeri 0.6426 ile Sum of sine fonksiyonu ile elde edilmiştir. Bu durumda oluşturulan birçok modelin

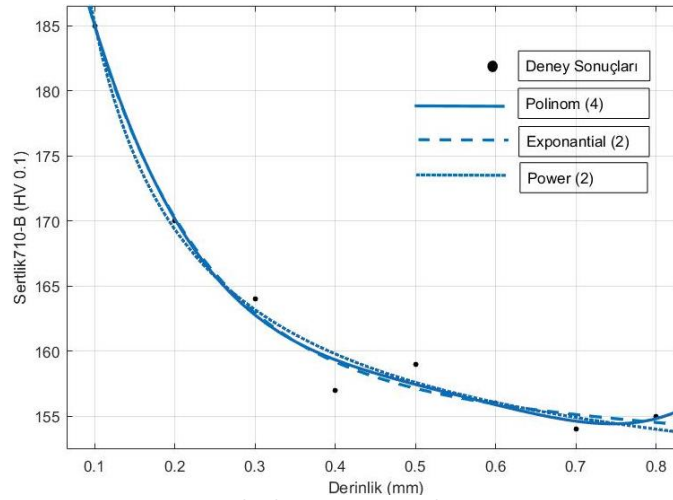
(710-B) kodlu parça için yüksek tahmin tutarlılığına sahip olduğu söylenebilir. Bu deney parçası için en yüksek R² (düzeltilmiş) değerleri ve bu algoritmalara ait formüller Tablo 6'da görülmektedir.

Tablo 6. 710-B deney parçası için elde edilen en yüksek değerler ve formülleri

(Table 6. The highest values and formulas for the 710-B test piece)

Matematiksel Model	R ² değeri (Düzeltilmiş)	Formül
Polinom (4 Değişken)	0.9705	$f(x) = (492.4 \cdot x^4) + (-1088 \cdot x^3) + (905.7 \cdot x^2) + (-351.9 \cdot x) + 212.2$
Exponential (2 Değişken)	0.9755	$f(x) = 57.21 \cdot \exp(-7.289 \cdot x) + 157.8 \cdot \exp(-0.02779 \cdot x)$
Power (2 Değişken)	0.9772	$f(x) = 7.508 \cdot x^{-0.7268} + 145.2$

Tablo 6'da verilen formüller ile ortaya koyulan grafikler Grafik 1'de verilmiştir. Her üç algoritma türünde de birbirine çok yakın eğriler görülmektedir. Gerek eğrilerin birbirine uyumu gerek se çok yakın R² değerleri her üç modelinde uygun sonuç ürettiğini göstermektedir.



Grafik 1. 710-B kodlu parça için matematiksel modeller ile oluşturulan eğriler

(Graphic 1. Curves generated by mathematical models for 710-B coded piece)

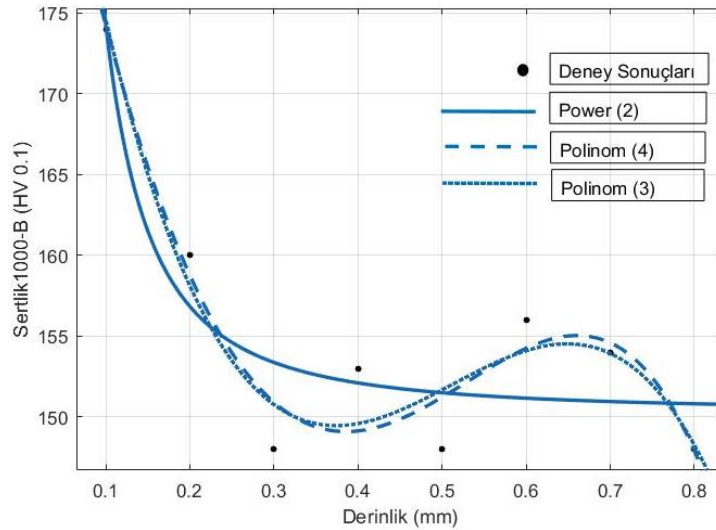
1000 devir ile birleştirilen parça (1000-B) için oluşturulan matematiksel modellerde 710-B kodlu deney parçasına göre daha düşük R² değerleri elde edilmiştir. Özellikle Fourier algoritması ile oluşturulan modellerde negatif R² değeri hesaplanmıştır. En yüksek R² (düzeltilmiş) değeri ise 0.869 ile 3 değişkenli polinom ile elde edilmiştir. Bu deney parçası ile elde edilen en yüksek üç R² (düzeltilmiş) değeri Tablo 7'de görülmektedir.

Tablo 7. 1000-B deney parçası için elde edilen en yüksek değerler ve formülleri

(Table 7. The highest values and formulas for the 1000-B test piece)

Matematiksel Model	R ² değeri (Düzeltilmiş)	Formül
Power (2 Değişken)	0.7595	$f(x)=0.3165*x^{-1.879}+150.3$
Polinom (4 Değişken)	0.8321	$f(x)=(-293.6*x^4)+(41.04*x^3)+(428.7*x^2)+(-281.6*x)+198.1$
Polinom (3 Değişken)	0.869	$f(x)=(-487.4*x^3)+(747.8*x^2)+(-354.9*x)+203.1$

Tablo 7’de en yüksek R² (düzeltilmiş) değerlerini veren üç fonksiyona ait formüller bulunmaktadır. Grafik 2’de ise bu formüller ile oluşturulan eğriler görülmektedir. Grafik 2 incelendiğinde polinom fonksiyonlarının çok daha yüksek eğri uydurma başarısının olduğu anlaşılmaktadır. 1000-B kodlu bu parçada 3 değişkenli polinom ile 0.869 R² değerine ulaşılmıştır. Fakat bu değer genel olarak %10’luk hata diliminin dışında kaldığı için tam olarak başarılı görülmemektedir.



Grafik 2. 1000-B kodlu parça için matematiksel modeller ile oluşturulan eğriler
(Graphic 2. Curves generated by mathematical models for 1000-B coded piece)

4.2. Haddelenmemiş Parçalar İçin Yapılan Matematiksel Modelleme (Mathematical Modeling for not Burnished Parts)

Yapılan deneysel çalışma sonucunda elde edilen veriler kullanılarak haddelenmemiş malzemeler için yapılan modelleme sonucunda elde edilen sonuçlar Tablo 8’de görülmektedir.



Tablo 8. Haddelenmemiş parçalar için oluşturulan matematiksel modeller ve elde edilen sonuçlar
(Table 8. Mathematical models and results obtained for not burnished parts)

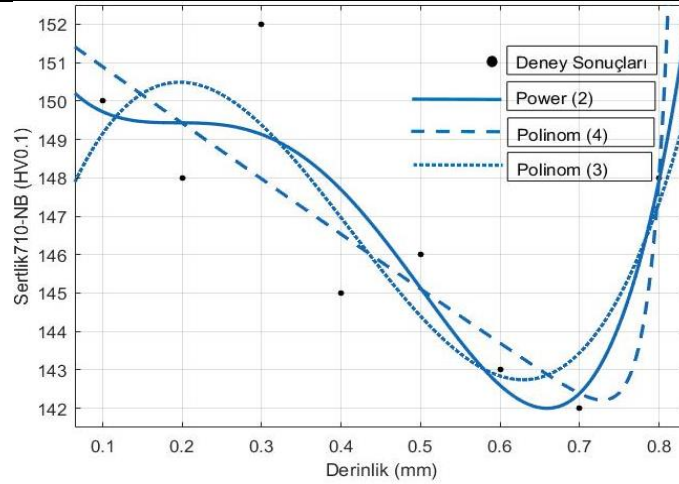
Model Türü	Değişken Sayısı	SSE		R ²		R ² Düzeltilmiş		RMSE	
		710-NB	1000-NB	710-NB	1000-NB	710-NB	1000-NB	710-NB	1000-NB
Exponential	1	52.16	70	0.36	2.00E-12	0.2533	-0.1667	2.949	3.146
Exponential	2	22.84	49.05	0.7198	0.2993	0.5096	-0.2262	2.389	3.502
Fourier	1	25.53	40.61	0.6868	0.4198	0.4519	-0.0153	2.526	3.186
Gaussian	1	52.17	70	0.3599	-7.88e-07	0.1039	-0.4	3.23	3.742
Gaussian	2	18.74	67.79	0.77	0.03163	0.195	-2.389	3.061	5.882
Linear	1	40.17	69.57	0.5071	0.006139	0.31	-0.3914	2.834	3.73
Polynom	1	52.33	70	0.3579	0	0.2509	-0.1667	2.953	3.416
Polynom	2	44.62	69.14	0.4525	0.01224	0.2335	-0.3829	2.987	3.719
Polynom	3	22.74	66.96	0.721	0.04341	0.5117	-0.674	2.384	4.091
Polynom	4	18.68	42	0.7708	0.4	0.4651	-0.4	2.495	3.742
Polynom	5	18.59	12.92	0.7719	0.8154	0.2016	0.3538	3.049	2.542
Power	1	50.56	66.64	0.3797	0.005189	0.2763	-0.1606	2.903	3.407
Power	2	50.11	56	0.3852	0.2	0.1393	-0.12	3.166	3.347
Sum of sine	1	52.37	70	0.3578	-8.39E-10	0.1009	-0.4	3.235	3.742
Sum of sine	2	22.64	141.5	0.6977	-1.021	-0.0581	-6.073	3.51	8.41

Haddelenmiş parçalar için oluşturulan matematiksel modellerin sonuçlarının bulunduğu Tablo 8 incelendiğinde 710 devir ile birleştirilen 710-NB kodlu malzemeye ait R² değerlerinin haddelenmiş malzemeler ile kıyasla oldukça geride olduğu görülmektedir. Her ne kadar R² değerleri bazı modellerde 0.77 düzeyine çıkmış olsa bile en doğru değerlendirmenin yapılabileceği R² (düzeltilmiş) değerleri 0.51 seviyesinin aşmamaktadır. Tablo 9'da üç farklı model ile elde edilen formüller listelenmiştir. Bu formüller kullanılarak elde edilen eğriler Grafik 3'de görülmektedir.

Tablo 9. 710-NB deney parçası için elde edilen en yüksek değerler ve formülleri

(Table 9. The highest values and formulas for the 710-NB test piece)

Matematiksel Model	R ² değeri (Düzeltilmiş)	Formül
Polinom (4 Değişken)	0.4651	$f(x) = (473.5 * x^4) + (-660.4 * x^3) + (277.1 * x^2) + (-46.88 * x) + 152.3$
Exponential (2 Değişken)	0.5096	$f(x) = 152.4 * \exp(-0.09774 * x) + 4.957e-15 * \exp(43.62 * x)$
Polinom (3 Değişken)	0.5117	$f(x) = 191.9 * x^3 + -237.7 * x^2 + 71.22 * x + 144.2$



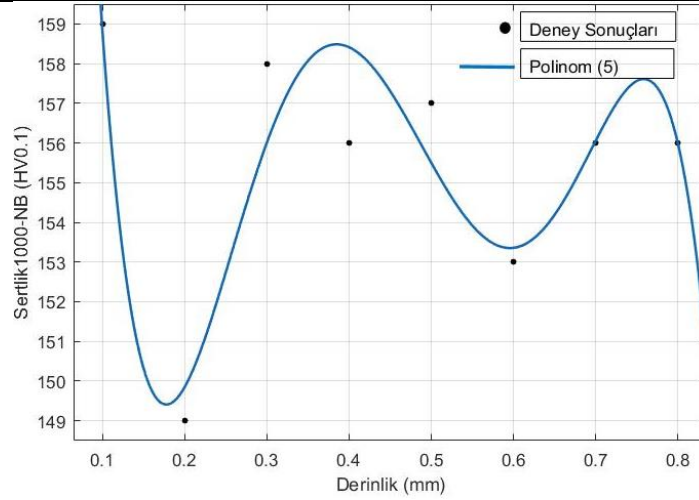
Grafik 3. 710-NB kodlu parça için matematiksel modeller ile oluşturulan eğriler
(Graphic 3. Curves generated by mathematical models for 710-NB coded piece)

Grafik 3 incelendiğinde her üç modelinde deney sonuçlarına yakın eğriler oluşturmadıkları anlaşılmaktadır. 1000 devir ile birleştirilen ve 1000-NB kodlu parça içinde gerek R^2 değerleri gerekse R^2 (düzeltilmiş) değerlerinin oldukça düşük olduğu anlaşılmaktadır. Beş değişkenli polinom ile R^2 değeri 0.8154 olarak tespit edilmiştir. Bununla birlikte R^2 (düzeltilmiş) değerleri sırası ile 0.3538 olarak şekillenmiştir. Bunun dışındaki algoritmalar 0 ile -1 aralığında değer oluşturduğundan dikkate alınmamıştır. Tablo 10'da Beş değişkenli polinom algoritması ile elde edilen formül görülmektedir.

Tablo 10. 1000-NB deney parçası için elde edilen en yüksek değer ve formülü
(Table 10. The highest values and formulas for the 1000-NB test piece)

Matematiksel Model	R^2 değeri (Düzeltilmiş)	Formül
Polinom (5 Değişken)	0.3538	$f(x) = (-8077 * x^5) + (1.935e+04 * x^4) + (-1.725e+04 * x^3) + (6999 * x^2) + (-1247 * x) + 229$

Tablo 10'da elde edilen formül kullanılarak oluşturulan eğri Grafik 4'de görülmektedir.



Grafik 4. 1000-NB kodlu parça için matematiksel model ile oluşturulan eğri
(Graphic 4. Curves generated by mathematical models for 1000-NB coded piece)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS)

SKK yöntemi ile birleştirilmiş Al-7075 malzemelerin kaynak merkezinin üst yüzeyinden içeriye doğru gösterdiği mikro sertlik değişiminin haddelenme işlemi ile beraber gösterdiği etkinin matematiksel modeller ile araştırıldığı bu çalışmada aşağıdaki bulgular elde edilmiştir. Haddelenmiş parçalar için oluşturulan matematiksel modellerde daha yüksek uyum tespit edilmiştir. 710 devir ile birleştirilen haddelenmiş parçalarda da üç farklı fonksiyon ile 0.97 oranında R^2 (düzeltilmiş) değeri elde edilmiştir. Bu üç fonksiyonda (Polinom (4 Değişken), Exponential (2 Değişken), Power (2 Değişken)) bu parçadaki sertlik değişiminin çözümlenmesinde kullanılabileceği anlaşılmıştır. 1000 devir ile birleştirilen haddelenmiş parça için en yüksek R^2 (düzeltilmiş) değeri 0.869 ile Polinom (3 Değişken) fonksiyonu kullanılarak elde edilmiştir. Bu parça için bu algoritmanın kullanımı büyük oranda çözümlemede kullanılabilir düzeydedir. Haddelenmemiş parçalarda ise haddelenmiş parçalara oranla daha düşük R^2 (düzeltilmiş) değerleri elde edilmiştir. 710 devir ile birleştirilen parçalar için R^2 (düzeltilmiş) değeri 0.51 düzeyinde şekillenmiştir. 1000 devir ile birleştirilen parça için R^2 (düzeltilmiş) değeri 0.3538 olarak elde edilmiştir. Bu iki sonuç birlikte değerlendirildiğinde bu çözümleme yöntemi yerine farklı matematiksel modellerin uygulanmasının daha uygun olduğu anlaşılmaktadır.

NOT (NOTICE)

Bu çalışma, 5-8 Eylül 2017 tarihleri arasında Tiflis (Gürcistan)'da düzenlenen 2nd International Science Symposium'da sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Thomas, W.M. and Nicholas, E.D., (1998). Friction Stir Welding for the Transportation Industries. Materials and Design, Vol:18(4), pp:269-273.
2. Kaluç, E. ve Taban, E., (2007). Sürtünen Eleman ile Kaynak (FSW) Yöntemi (Sürtünme Karıştırma Kaynağı). Ankara: Makine Mühendisleri Odası Yayını



3. Çam, G., (2005). Sürtünme karıştırma kaynağı (SKK): Al-alaşımları için geliştirilmiş yeni bir kaynak Teknolojisi. *Mühendis ve Makine*, Vol:46(541), pp:30-39.
4. İpekoğlu, G., Erim, S., and Çam, G., (2014). Effects of Temper Condition and Post Weld Heat Treatment on the Microstructure and Mechanical Properties of Friction Stir Butt-Welded AA7075 Al Alloy Plates. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol:70(1), pp:201-213.
5. Munoz, A.C., Rückert, G., Huneau, B., Sauvage, X., and Marya, S., (2008). Comparison of TIG Welded and Friction Stir Welded Al-4.5Mg-0.26Sc alloy. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol:197, pp:337-343.
6. Chen, Y., Ni, Q., and Ke, L., (2012). Interface Characteristic of Friction Stir Welding Lap Joints of Ti/Al Dissimilar Alloys. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China* Vol:22(2), pp:299-304.
7. Song, K.H. and Nakata, K., (2010). Microstructural and Mechanical Properties of Friction-Stir-Welded and Post-Heat-Treated Inconel 718 Alloy. *Journal of Alloys and Compounds* Vol:505(1), pp:144-150.
8. El-Axir, M.H., (2000). An Investigation into Roller Burnishing. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol:40 (2000), pp:1603-1617.
9. El-Axir, M.H., Othman O.M., and Abodiena A.M., (2008). Improvements in out-of-roundness and Microhardness of Inner Surfaces by Internal Ball Burnishing Process. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol:196, pp:120-128.
10. Hassan, A.D. and Maqableh, A.M., (2000). The Effects of Initial Burnishing Parameters on Non-Ferrous Components. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol:102 (2000), pp:115-121.
11. Başak, H., Özkan, S., and Taşkesen, A., (2011). Application of Burnishing Process on Friction Stir Welding and Investigation of the Effect of Burnishing Process on the Surface Roughness, Hardness and Strength. *Experimental Techniques*, Vol:35(1), pp:8-16.
12. Basak, H. ve Sönmez, F., (2015). Haddemeleme İşleminde Haddemeleme Aparat Tipinin (Bilyeli, Makaralı, Çift Makaralı) Yüzey Pürüzlülüğü ve Yüzey Sertliğine Etkilerinin İncelenmesi. *Politeknik Dergisi*, Vol:2015(18), pp:125-132.
13. Montgomery, D.C., (2004). *Design and Analysis of Experiments*. Wiley, New York.
14. Rao, R.V., (2011). *Advanced Modeling and Optimization of Manufacturing Processes*. Springer, London.
15. Petrik, J., (2014). The Micro-hardness of Heat Treated Carbon Steel. *Materials Science (Medžiagotyra)*, Vol:20 (1), pp:21-24
16. Özlü, B., Demir, H. ve Nas, E., (2014). CNC Tornalama İşleminde Yüzey Pürüzlülüğü ve Kesme Kuvvetlerine Etki Eden Parametrelerin Matematiksel Olarak Modellenmesi. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, Vol:3(2), pp:75-86.
17. Nas, E., Samtaş, G. ve Demir, H., (2012). CNC Frezelemede Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Parametrelerin Matematiksel Olarak Modellenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Vol:(18)1, pp:47-59.
18. Sönmez, F., (2016). Yaşlandırılabilir Alüminyum Alaşımların Sürtünme Karıştırma Kaynağı İle Birleştirmesi ve Kaynak Sonrası Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Ankara.