

ÇİFT KATMANLI SACLARDA PRESLEME KUVVETİ VE SAC MALZEMESİNİN SOYULMA DİRENCİ VE ORTALAMA SOYULMA KUVVETİNE ETKİSİ

Cengiz Görkem DENGİZ¹ (ORCID: 0000-0003-1308-3223)*
Kemal YILDIZLI¹ (ORCID: 0000-0001-9532-2560)

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Atakum/SAMSUN

Geliş / Received: 27.08.2018
Kabul / Accepted: 28.01.2019

ÖZ

Endüstride enerji tasarrufu için hafif malzemelere ve hafif yapılara olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Bu sebeple son on yılda çift katmanlı saclara olan ilgi artmıştır. Çift katmanlı malzemelerin aynı kalınlıktaki tek katmanlı malzemelere göre hafif olması ve farklı özellikleri bir arada bulundurabilmesi bu ilginin artmasının sebebidir. Çift katmanlı sac, iki metalik sacın soğuk haddeleme, basınç kaynağı, sıcak haddeleme veya yapıştırıcı ile yapıştırma gibi çeşitli yöntemlerle birleştirilmesi ile elde edilir. Bu saclar ile istenilen elektriksel ve termal karakteristik, hafiflik, korozyon dayanımı ve şok emici yapı sağlanabilmektedir. Bu çalışmada polikloropren bazlı bir yapıştırıcı kullanılarak farklı kalınlık ve farklı malzemelerden sac metaller farklı kuvvetler altında birleştirilerek çift katmanlı bir yapı elde edilmiştir. Elde edilen çift katmanlı saclar soyulma testine tabi tutularak soyulma dirençlerine ve ortalama soyulma kuvvetlerine etkiyen parametreler (kuvvet, sac metal) belirlenmeye çalışılmıştır. Tüm deneyler tam faktöriyel deney tasarımına göre oluşturulmuş ve sonuçları incelenmiştir. Çalışma sonucunda sac tipinin çift katmanlı sacların yapışmasında en önemli faktör olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Sac metal, çift katmanlı sac, soyulma testi, yapıştırma

THE EFFECT OF PRESSING FORCE AND SHEET MATERIAL TYPE ON PEEL RESISTANCE AND AVERAGE PEEL FORCE IN DOUBLE LAYER SHEETS

ABSTRACT

There is a growing need for lightweight materials and lightweight construction for energy saving. For this reason, interest in double-layer sheets has increased in the last decade. The fact that the double layer materials are lightweight compared to the monolithic materials of the same thickness and that they can have different properties together is the reason for this increase. Double layer sheet metal is obtained by combining two metallic sheets with various methods such as cold rolling, pressure welding, hot rolling or adhesive bonding. These sheets are used to provide properties that can not be achieved with a monolithic sheet. The desired electrical and thermal characteristics, lightness, corrosion resistance and shock absorbing structure can be achieved with the developed double layer sheet metals. In this study, a double layered structure was obtained by using a polychloroprene based adhesive and combining sheet metals of different thicknesses and different materials under different forces. The obtained double-layered sheets were subjected to peeling test to determine adhesion properties and parameters (force, sheet metal type) affecting these properties. All the experiments were made according to the full factorial experimental design and the results were examined. As a result of the study, it is seen that the sheet metal type is the most important factor in the adhesion of the double layer sheets.

Keywords: Sheet metal, double layered sheets, peeling test, bonding

*Corresponding author/Sorumlu yazar. Tel.:0 362 312 19 19-1008 ; e-mail / e-posta: gorkem.dengiz@omu.edu.tr

1. GİRİŞ

Endüstride enerji tasarrufu için hafif malzemelere ve hafif yapılara olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Bu sebeple son zamanlarda katmanlı malzemelere ve katmanlı saclara olan ilgi artmıştır. Katmanlı saclar, iki metalik sacın soğuk haddeleme, basınç kaynağı, sıcak haddeleme veya yapıştırıcı ile yapıştırma gibi çeşitli yöntemlerle birleştirilmesi ile elde edilir. Bu malzemeler aynı kalınlıktaki tek katmanlı malzemelere göre hafiftir ve farklı özellikleri bir arada bulundurabilir. Katmanlı saclar özellikle otomobil, uçak ve uzay havacılığı sanayisinde yoğun olarak kullanılmaktadır.

Sanayide kullanılan ilk katmanlı malzeme, uçakta kontrplak ve Balsa'dan (bir ağaç türü) oluşan katmanlı ahşapların kullanıldığı 1924 yılına dayanmaktadır. Uçak endüstrisinin hızlı gelişimi ile hafif, sert ve güçlü malzemelere olan talep farklı katman malzemelerinin yaygınlaşmasına sebep olmuştur. 1987'de GLARE (Glass-fibre Reinforced Aluminium, Cam Laminat Alüminyum Takviyeli Epoksi) olarak bilinen katmanlı malzeme Akzo Nobel tarafından patentlenmiştir [1]. Bu katmanlı malzeme yüksek korozyon ve ateşe dayanıklılık ile düşük özgül ağırlığa sahiptir. Aynı dönemde alüminyum esaslı ARALL (Aramide Reinforced ALuminum Laminate, Aramid Alüminyum Laminatlar) veya CARALL (CARbon Reinforced ALLuminum, Karbon Elyaf Takviyeli Alüminyum Laminatlar) gibi katmanlı saclar da geliştirilmiştir [2-4]. Günümüzde, gelişmiş özellikler ile birlikte mümkün olan en düşük ağırlığı elde etmek için çok katmanlı malzemelerin geliştirilmesi yoğun olarak araştırılmaktadır [5].

Günümüzde enerji tasarrufu için yeni hafif malzemelerin (metal/polimer/metal gibi) geliştirilmesi giderek önem kazanmaktadır. Üç katmanlı metal/polimer/metal veya çok katmanlı levhalar gibi hibrit sistemlerin tasarımı otomotiv, inşaat, denizcilik endüstrileri ve hatta havacılık gibi alanlarda yüksek öneme sahiptir. Örnek olarak, havacılık endüstrisinde (Airbus 380) alüminyum tabakalar ile cam elyaf takviyeli bir epoksi kombinasyonu olan GLARE veya ARALL, çok iyi bilinen ancak seri üretimi çok pahalı olan malzemelerdir [6]. Literatürde katmanlı sacların üretimi ve şekillendirilmesi hakkında birçok çalışma bulunmaktadır. Ibarra-Castanedo vd, GLARE'deki tabakalar arası ayrılmayı incelemiş ve cam elyafların sertleştikten sonra şekillendirilebilirliğinin düştüğünü göstermişlerdir [7]. Kim vd, haddeleme ile yapıştırılmış alüminyum/polipropilen/alüminyum (HYLITE) malzemenin mekanik davranışını belirlemişler ve şekillendirme sınır eğrisi ile akma fonksiyonunu hesaplamışlardır [8]. Çalışmalarında sandviç panelin yüksek gerinim oranı hassasiyetinin olumlu etkisinin, düşük pekleşme üstelinin olumsuz etkisi tarafından nötrlendiğini belirtmişlerdir. Ayrıca sandviç panellerin yüksek şekil alma kabiliyetinin temel nedeninin daha kalın olmalarından kaynaklandığını da ortaya koymuşlardır. Maleki vd, analitik, sayısal ve deneysel yaklaşımları kullanarak alüminyum/çelik katmanlı sacların haddeleme işleminde yapışma mukavemetini ve kritik kalınlık azalmasını incelemiştir [9]. Yapışma mukavemetinin ve kritik kalınlık azalmasının, tabakaların akma dayanımından ve başlangıç kalınlığından önemli ölçüde etkilenebileceğini bildirmişlerdir.

Katmanlı sacların yapışma kaliteleri soyulma testleri ile belirlenmektedir. Yapılan çalışmalarda genellikle ASTM D1876 ve DIN 53282 soyulma testi standartları kullanılmaktadır [10]. Kami vd, darbe sönümleyici katmanlı sac olan BONDAL'ın yapışma durumunu incelemek için soyulma testi yapmışlardır [11]. Yapışma yüzeyleri arasındaki durumu taramalı elektron mikroskopunda (TEM) görüntüleyerek incelemiştir. Testler sonucunda sandviç panel ile paneli oluşturan sacın mukavemetinin aynı olduğu görülmüştür. Sacın ara katmanında oluşan hasarın, yüzeydeki hasardan daha sonra oluştuğunu belirtmişlerdir. Nick ve arkadaşları dört farklı yapıştırıcı ile yapıştırılmış tek yönlü karbon fiber takviyeli epoksi kompozit numunelerin soyulma davranışlarını incelemiştir [12]. Yapıştırılan parçaların farklı sıcaklıklar altındaki yapışma mukavemetlerini belirleyerek, yapışma yüzeylerini TEM'de incelemiştir. Çalışma sonucunda soyulma mukavemetinin yapıştırıcıya bağlı olarak değiştiğini belirlemiştir. Buna bağlı olarak soyulma mukavemetinin camsı geçiş sıcaklığına kadar sıcaklık ile birlikte arttığı, bu sıcaklıktan sonra ise soyulma mukavemetinin düştüğünü gözlemlemiştir. Carradò vd, sandviç panellerin şekillendirme ve yapışma kabiliyetlerini arttırmak için katmanlı sacların termal davranışı, soyulma davranışı ve mekanik davranışlarını incelemiştir [13]. Çalışma sonucunda haddeleme ile üretilen sandviç panellerin, sıcak presleme ile üretilen panellere göre %140 daha fazla soyulma direnci gösterdiğini belirlemiştir. Liu vd, yaptıkları çalışmada AA5052/polietilen/AA5052 katmanlı sacının şekil alma kabiliyetini deneysel olarak belirlemişler ve sonlu elemanlar metodu ile deneyleri modellemiştir [14]. Ayrıca, T-soyulma ve kayma testlerini ABAQUS sonlu elemanlar programı ile simüle ederek ve deneysel sonuçlarla karşılaştırarak yapışma bölgesi modelinin parametrelerini belirlemiştir. Moore ve Williams, esnek katmanlı plakaların soyulma direncinin test geometrisi ve soyulma açısı ile olan etkileşimini incelemiştir [15]. Çalışma sonucunda numunenin soyulma dayanımını belirlemişler ve bu dayanımın test geometrisinden ve soyma açısından bağımsız olduğunu göstermişlerdir. Brewis ve Crichtlow, ön ısıtma yapılmış alüminyum alaşımlarını farklı yapıştırıcılar kullanarak yapıştırmışlar ve ısıtılmış su içerisinde belirli sürelerde bekleterek yapışmanın soyulma direncini ve hasar modlarını belirlemiştir [16]. Literatürde katmanlı sacların soyulma dirençleri ile ilgili birçok çalışma olmasına rağmen yapıştırılan sac çiftlerini ve presleme kuvvetinin yapışmaya olan etkisini inceleyen çalışmaya rastlanılmamıştır.

ÇİFT KATMANLI SAÇLARDA PRESLEME KUVVETİ VE SAC MALZEMESİNİN SOYULMA DİRENCİ VE ORTALAMA SOYULMA KUVVETİNE ETKİSİ

Bu çalışmada çift katmanlı saçların yapışma kabiliyetleri soyulma testi ile belirlenmiştir. Farklı sac metal malzemeler kullanılarak ve farklı yapıştırma kuvvetleri uygulanarak üretilen çift katmanlı saçlar soyulma testine tabi tutularak soyulma direnci ve ortalama soyulma kuvvetine etkiyen parametreler (kuvvet, sac metal) incelenmiştir. Çalışmada tam faktöriyel deney tasarımı kullanılmıştır. Ana malzeme olarak ostenitik paslanmaz çelik (AISI 304) seçilmiş ve bu malzeme üzerine ferritik paslanmaz çelik (AISI 430) ve Al-Mg alaşımı (EN AW 5754) sac yapıştırılarak katmanlı saçlar oluşturulmuştur. Katmanlı saçlar oluşturulurken ara yüzeye yapıştırıcı uygulanmış ve yapışmanın sağlanması için farklı kuvvetler ile saçların üzerine baskı uygulanmıştır. Üretilen saçlar soyulma testine tabi tutularak soyulma yükleri belirlenmiş ve parametrelerin etkisi istatistiksel olarak incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Malzeme

Çalışmada AISI 304, AISI 430 ve EN AW 5754 olmak üzere üç farklı sac metal kullanılmıştır. Katmanlı sac, AISI 304 sacın üzerine AISI 430 ve EN AW 5754 yapıştırılarak üretilmiştir. Saçlara ait mekanik özellikler Tablo 1’de verilmiştir. Saçların mekanik özellikleri ASTM E8/E8M-13a standardına uygun olarak hazırlanmış çekme numunelerine çekme testi yapılarak belirlenmiştir [17]. Çekme testi numuneleri, saçların hadde yönüne göre 0°, 45° ve 90° açılarda ve her birinden 3 adet olacak şekilde kesilmiştir. Tüm çekme testleri, Instron marka 5982 model 10 ton yüklemeye kapasitesine sahip çekme cihazında yapılmıştır. Saçların yüzey pürüzlülükleri ise Mitutoyo SurfTest SJ-400 cihazı ile ölçülmüştür. Saçların yapıştırılmasında yapıştırıcı olarak piyasada kolayca tedarik edilebilen polikloropren yapıştırıcılar kullanılmıştır.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan saçların mekanik özellikleri.

Malzeme özellikleri	AISI 304	AISI 430	EN AW 5754
Elastisite modülü, E (GPa)	210	192	81
Akma dayanımı, R _{p0.2} (MPa)	279.06	282.63	178.89
Çekme dayanımı, R _{maks} (MPa)	650.85	463.73	250.64
Maks. Uzama, Δl (%)	31.2	6.8	5.4
Yüzey pürüzlülüğü, R _a (μm)	0.17	0.05	0.31
Kalınlık, t (mm)	0.47	0.45	0.8

2.2. Soyulma Testi

Deney numuneleri ASTM D1876-08 standardına göre tam faktöriyel deney tasarımı kullanılarak oluşturulmuştur. Tam faktöriyel deney tasarımı (TFDT), sonuç üzerinde faktörlerin ve faktör seviyelerinin etkilerini belirlemede kullanılan bir uygulamadır. Her faktörün her seviyesinden eşit sayıda deney sonucu alınır ve bunlar birbirleri ile karşılaştırılır. Bu tasarıma göre 2 farklı sac metal tipi ve 2 farklı presleme kuvveti incelenecek parametreler olarak belirlenmiştir. Her deney numunesinden 3 adet olacak şekilde üretim yapılmıştır. Tablo 2’de çalışmada kullanılan deney tasarımı görülmektedir.

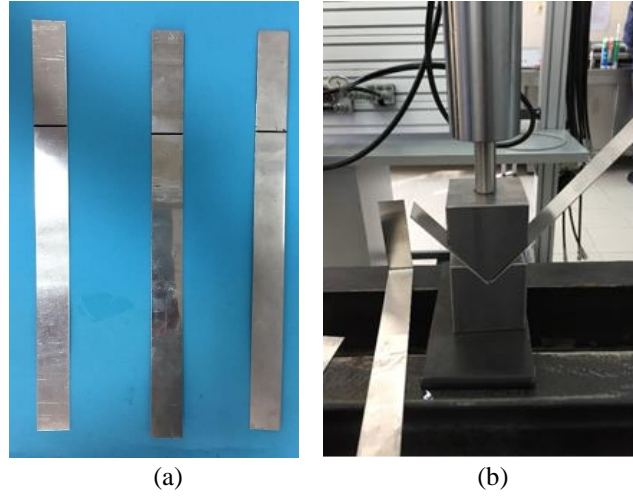
Tablo 2. Tam faktöriyel deney tasarımı

Deney no.	Sac metal	Presleme kuvveti (N)
1	EN AW 5754	5000
2	EN AW 5754	50
3	AISI 430	5000
4	AISI 430	50

Saçlar soyulma deneyine tabii tutulmak amacı ile 25 mm genişliğinde ve 305 mm uzunluğunda abkant pres yardımı ile kesilmiştir (Şekil 1a). Kesilen parçalar 76 mm’ den V kalıp yardımıyla bükülerek kalıcı bir büküm

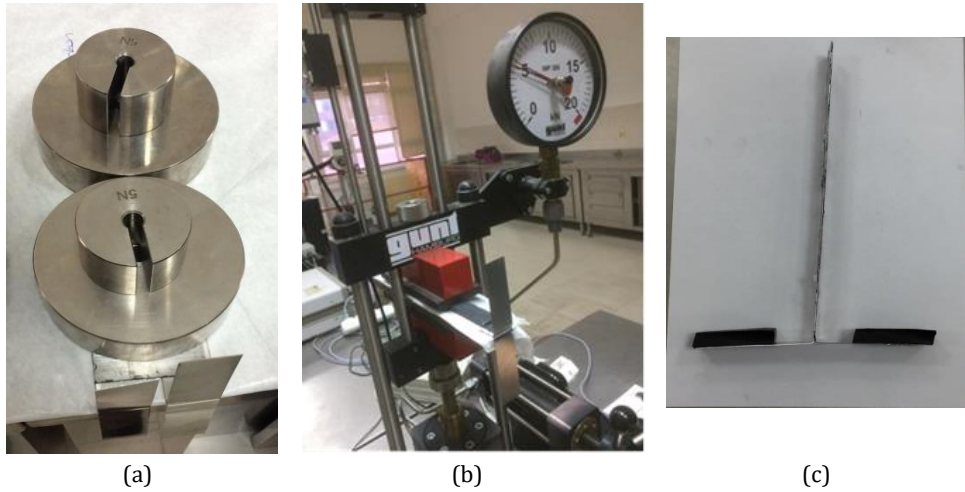
C. G. DENGİZ, K. YILDIZLI

oluşturulmuştur (Şekil 1b). Bükme işlemi esnasında kalıp kapatıldıktan sonra kısa bir süre bekletilerek geri esneme minimuma düşürülmüştür.



Şekil 1. Soyulma testi numunelerinin kesilmesi (a) ve bükülmesi (b).

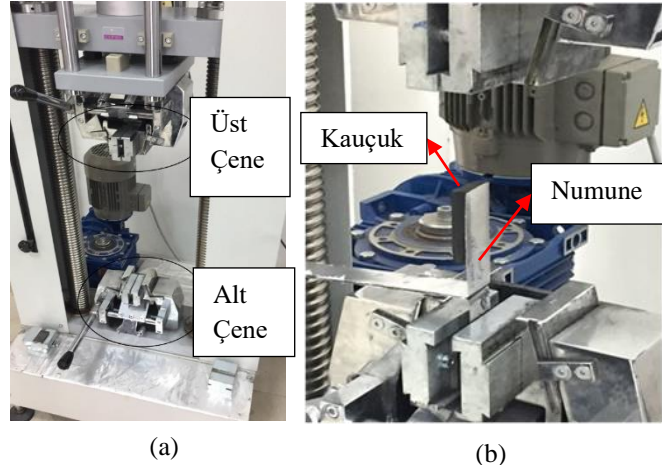
Kesilen ve bükülen numunelerin yüzeyindeki yağ ve diğer kalıntılar aseton ile temizlenmiş ve kurumaya bırakılmıştır. Yapıştırıcı, malzeme yüzeyini kapatacak şekilde uygulanmıştır. Birleştirilen sac metallere düz bir yüzeye koyularak üzerine 50 ve 5000 N'luk kuvvetler etki ettirilmiştir ve 24 saat boyunca bu kuvvetler altında bırakılmıştır (Şekil 2a-b). Şekil 2c'de soyulma testine hazır halde bir numune görülmektedir.



Şekil 2. Numunelerin farklı yükler altında bekletilmesi (a) 50 N, (b) 5000 N ve (c) teste hazır numune

Soyulma testleri, 10 ton yüklemeye yapabilen çekme test cihazında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3a). Bu cihazda çekme kuvveti, mekanik güç aktarım organları vasıtasıyla uygulanmaktadır. Düzenek, genel olarak, elektrik motoru, redüktör, deney numunesini tutmayı sağlayan üst çene ve alt çeneden ibarettir. Alt çene sabit (hareketsiz); üst çene ise yukarı/aşağı hareket edebilmektedir. Soyulma test hızı, standarda göre 254 mm/dakika olarak ayarlanmıştır [10]. Deney numunesinin çenelere tutturulacak kısımlarına numunenin sıyırma yapamaması için kauçuk malzeme yapıştırılmış ve numune cihazın çenelerine yerleştirilmiştir (Şekil 3b). Soyulma testi, numune tamamen soyuluncaya kadar devam eder ve kuvvet-soyulma mesafesi değerleri kaydedilir. Elde edilen kuvvet soyulma mesafesi grafiğindeki en yüksek kuvvet değeri malzemenin soyulma yükü olarak kabul edilir.

ÇİFT KATMANLI SAÇLARDA PRESLEME KUVVETİ VE SAC MALZEMESİNİN SOYULMA DİRENCİ VE ORTALAMA SOYULMA KUVVETİNE ETKİSİ

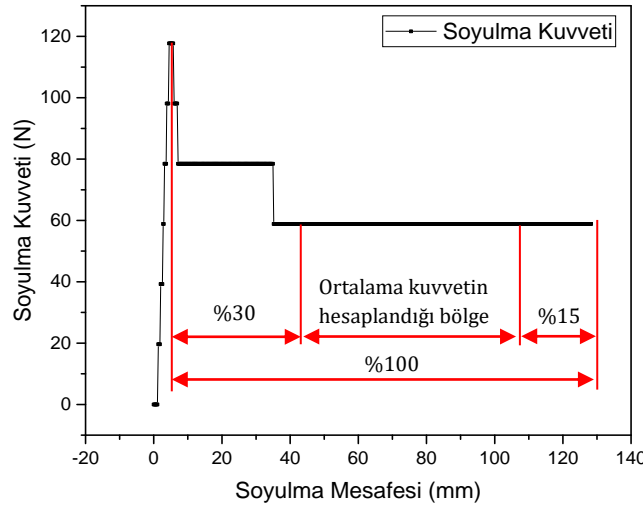


Şekil 3. Çekme test cihazı (a) genel görünüm, (b) numunenin bağlanması

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Soyulma testleri sonucunda kuvvet-soyulma mesafesi grafikleri elde edilmiştir. Bu grafiklerin bir örneği Şekil 4'te verilmiştir. Grafikte soyulma yükü çene hareketinin başlaması ile birlikte ani olarak yükselmekte sonrasında ise belirli bir değerde lineer olarak devam etmektedir. Grafikte elde edilen en yüksek kuvvet değeri, çatlak kuvveti (F_{maks}) olarak adlandırılmaktadır. Çatlak kuvvetinin numune genişliğine (b) oranı ise soyulma direnci (P_a) olarak adlandırılmaktadır (Denklem 1). Testin devamında kuvvet belirli bir değere düşerek bölgesel yapışma durumuna ve cihazın hassasiyetine bağlı olarak ufak dalgalanmalar gösterebilmektedir. Bazı durumlarda farklı soyulma mesafelerinde başlangıçtaki yapışmadan daha kuvvetli yapışmalar olabilmektedir. Bu durumda ASTM D1876 standardında belirtildiği üzere test sırasında elde edilen en yüksek soyulma yükü, çatlak kuvveti olarak kabul edilmektedir.

$$P_a = \frac{F_{maks}}{b} \quad (1)$$

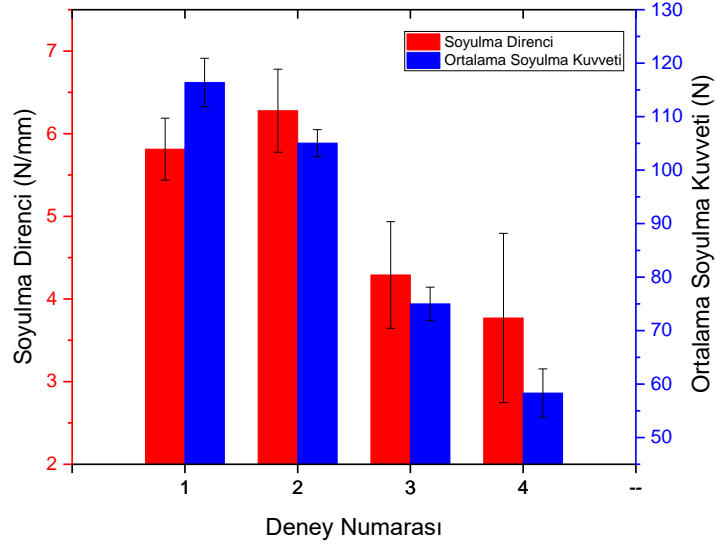


Şekil 4. Soyulma mesafesine bağlı olarak soyulma kuvvetinin değişimi

Eğrinin ilk pik noktasındaki soyulma mesafesi başlangıç olarak kabul edilerek soyulmanın tamamlandığı mesafe maksimum soyulma mesafesi olarak belirlenir. Burada, toplam soyulma mesafesinin %30 başlangıç ve %15 bitiş kısmından değerler atılır ve arada kalan %55'lik kısma ait kuvvetlerin ortalaması alınarak "Ortalama

C. G. DENGİZ, K. YILDIZLI

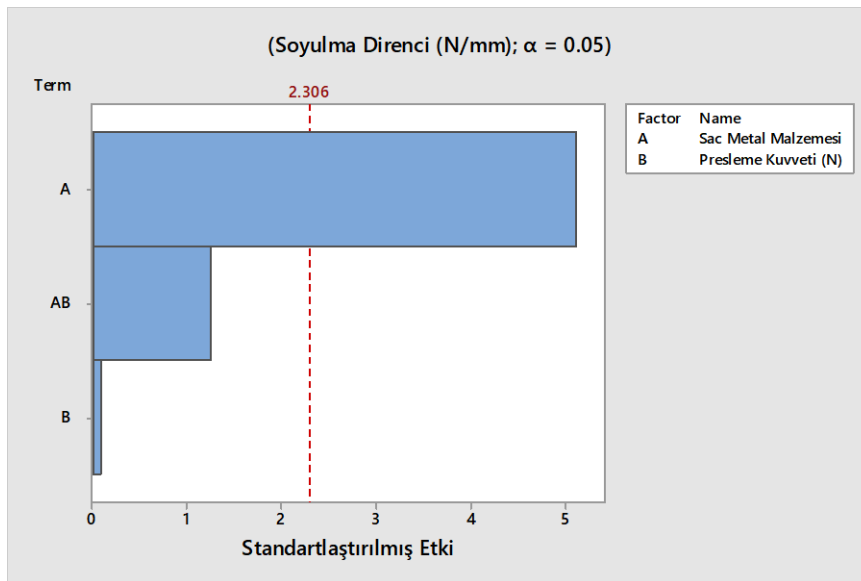
Soyulma Kuvveti” belirlenir. Tablo 2’de deney numaralarının belirtildiği testler sonucunda belirlenen soyulma dirençleri ve ortalama soyulma kuvvetleri Şekil 5’te verilmiştir.



Şekil 5. Farklı sac tipi ve presleme kuvveti altında elde edilen soyulma dirençleri ve ortalama soyulma kuvvetleri

3.1. Soyulma Direnci

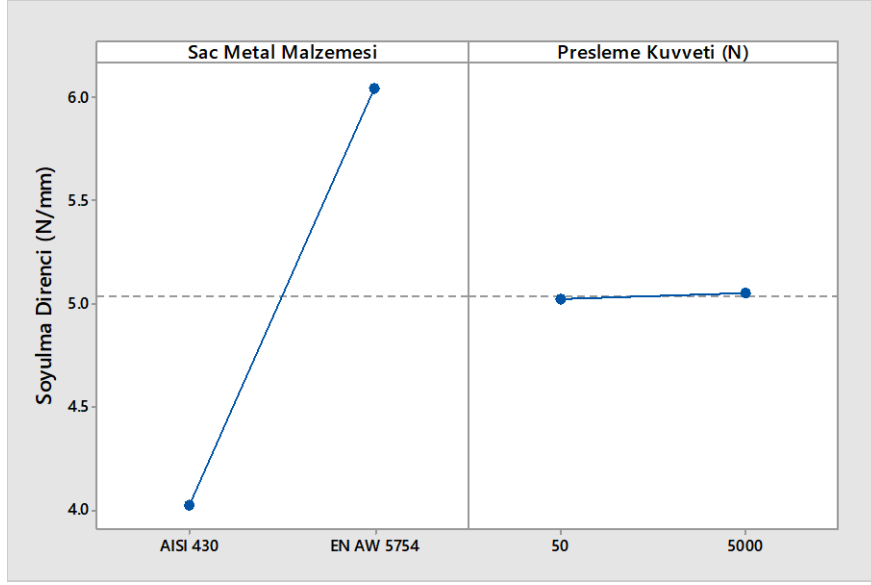
Soyulma testleri sonucunda elde edilen soyulma dirençleri bir istatistik programında incelenmiştir. Şekil 6’da parametreler ve parametreler arası etkileşim Pareto analizi yapılarak grafik halinde verilmiştir. Pareto analizi %95 güven aralığında ($\alpha=0,05$) yapılmıştır. Grafiğe göre referans çizgisinin sağına taşan faktörler istatistiksel olarak önemli iken çizginin solunda kalan faktörler daha az önemlidir. Burada iki ana faktörden (sac metal malzemesi ve presleme kuvveti) sadece sac metal malzemesinin soyulma direnci üzerinde en büyük etkiyi oluşturduğu görülmektedir. Presleme kuvvetinin ise soyulma direnci üzerinde en az etkiyi oluşturduğu yine Şekil 6’da görülmektedir. Sac metal malzemesi ile presleme kuvvetinin ikili etkileşimi her ne kadar presleme kuvvetinden daha yüksek etki oluştursa da bu etki istatistiksel olarak anlamlı bir etki değildir.



Şekil 6. Soyulma direnci için Pareto grafiği.

ÇİFT KATMANLI SAÇLARDA PRESLEME KUVVETİ VE SAC MALZEMESİNİN SOYULMA DİRENCİ VE ORTALAMA SOYULMA KUVVETİNE ETKİSİ

Analiz sonucunda sac metal malzemesi ve presleme kuvvetine bağlı olarak ortalama soyulma direnci grafiği elde edilmiştir (Şekil 7). Soyulma direnci, iki farklı sac metal malzeme arasında yaklaşık %5 oranında farklılık göstermiştir. Yapıştırılan sac çiftleri arasında en yüksek soyulma direnci AISI 304/EN AW 5754 sac çiftinde elde edilmiştir. Sacların yüzey pürüzlülük değerleri dikkate alındığında soyulma direncinin yüzey morfolojisi ile doğrudan ilgili olduğu anlaşılmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü daha yüksek olan EN AW 5754 malzemesinin ($R_a=0.31 \mu\text{m}$) daha yüksek soyulma direnci gösterdiği görülmektedir. Ancak tam etkinin anlaşılabilmesi için daha detaylı bir araştırılma yapılması gerekmektedir. İncelenen diğer bir faktör olan presleme kuvvetinin soyulma direncine daha az etki ettiği görülmüştür.



Şekil 7. Sac tipi ve presleme kuvvetine bağlı olarak soyulma direncinin değişimi.

Tablo 3'te sac metal malzemesi, presleme kuvveti ve bunların ikili etkileşimleri için ANOVA sonuçları verilmiştir. ANOVA, test tasarımındaki tüm kontrol faktörlerinin bireysel ve birlikte etkileşimlerini belirlemek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Bu analiz %5 anlamlılık düzeyinde ve %95 güven düzeyinde gerçekleştirilmiştir. ANOVA' da kontrol faktörlerinin önemi, her kontrol faktörünün P değerleri karşılaştırılarak belirlenir. Her bir faktörün P-değeri incelendiğinde sadece sac metal malzemesinin 0.05 anlamlılık düzeyinden küçük olduğu görülmektedir. P-değerinin 0.05 değerinden düşük olması sac metal malzemesinin diğer faktörlerden anlamlı şekilde farklı olduğunu kanıtlamaktadır. Diğer faktörlerin bu değerden oldukça yüksek olduğu dolayısıyla bu faktörlerin anlamlı bir farklılık oluşturmadığı görülmektedir. Tablo 3'e göre A, B ve A*B faktörlerinin soyulma direncine etkisi sırasıyla %73.247, %0.014 ve %4.374 olarak bulunmuştur. Böylece, soyulma direncini etkileyen en önemli faktörün sac metal malzemesi (A faktörü, %73.247) olduğu görülmüştür.

Tablo 3. Soyulma direnci ANOVA sonuçları

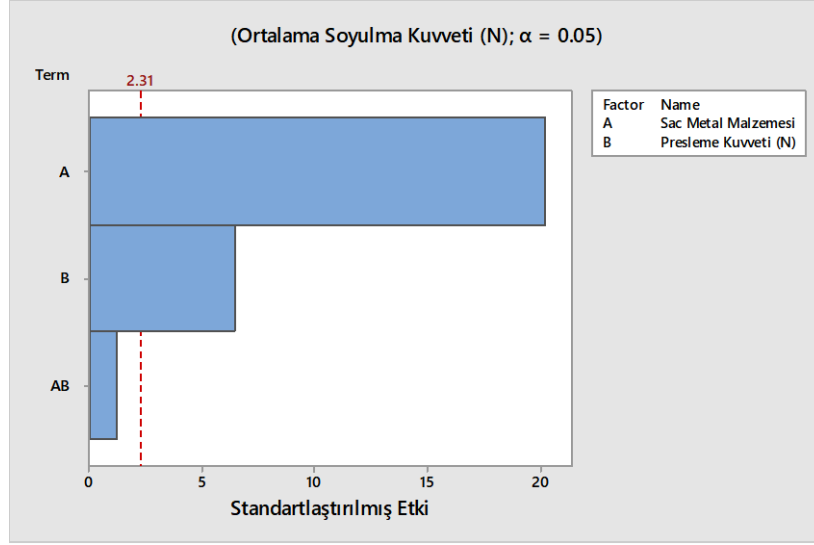
Kaynak	DF	SS	MS	F-değeri	P-değeri	Oran (%)
A	1	12.1766	12.1766	26.20	0.001	73.247
B	1	0.0024	0.0024	0.01	0.944	0.014
A*B	1	0.7272	0.7272	1.56	0.246	4.374
Hata	8	3.7175	0.4647			
Toplam	11	16.6238				

3.2. Ortalama Soyulma Kuvveti

Testler sonucunda elde edilen ortalama soyulma kuvvetleri Şekil 5'te verilmiştir. Bu sonuçlara göre yapılan Pareto analizinde ortalama soyulma kuvvetini, sac metal malzemesinin yanında presleme kuvvetinin de etkilediği görülmektedir. Soyulma direnci analizlerinde presleme kuvvetinin etkisinin önemsiz olmasına rağmen,

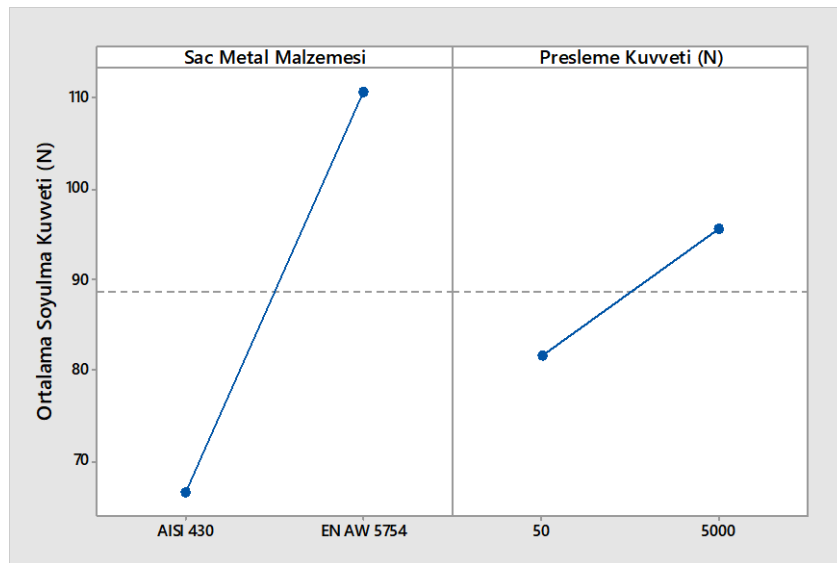
C. G. DENGİZ, K. YILDIZLI

ortalama soyulma kuvvetinde bu etki % 95 güven düzeyinde referans çizginin sağına taşmakta ve presleme kuvvetinin ortalama soyulma kuvvetine önemli derecede etkidiği görülmektedir (Şekil 8).



Şekil 8. Ortalama soyulma kuvveti için Pareto grafiği.

Yapılan istatistiksel analizde ortalama kuvvetin sac metal malzemesine ve presleme kuvvetine bağlı olarak değişimi Şekil 9'da verilmiştir. Grafiğe göre ortalama soyulma yükü sac metal tipine göre yüksek oranda değişiklik göstermektedir. Yüzey pürüzlülüğü daha yüksek olan EN AW 5754 malzemesi ile üretilen çift katmanlı saclarda soyulma direncine benzer şekilde daha yüksek ortalama soyulma kuvveti görülmüştür. Diğer taraftan artan presleme kuvvetinin ortalama soyulma kuvvetini de artırdığı görülmektedir. Presleme kuvvetinin artması ile birlikte sac yüzeyleri ile yapıştırıcı homojen olarak temas etmekte ve bu temas yapıştırıcı kuruyana kadar devam etmektedir. Yüksek kuvvet altında yapıştırıcı kalınlığının azalmasına rağmen yapışmanın daha kuvvetli olduğu ve bu sebeple ortalama soyulma yükünün arttığı anlaşılmaktadır. Test öncesi yapılan incelemelerde presleme kuvvetinin saclar arasında kalan yapıştırıcı kalınlığını da etkilediği görülmüştür. Presleme kuvvetinin yüksek olması durumunda, yüzeye uygulanan yapıştırıcının çoğunun kenarlardan sızdığı ve oluşan çift katmanlı sac kalınlığının daha düşük olduğu görülmüştür.



Şekil 9. Sac tipi ve presleme kuvvetine bağlı olarak ortalama soyulma kuvvetinin değişimi.

Ortalama soyulma kuvvetlerine göre ANOVA sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Tabloda sac metal malzemesinin ve presleme kuvvetinin P-değerinin 0.05 değerinden düşük olması bu faktörlerin farklı olduğunu

ÇİFT KATMANLI SAÇLARDA PRESLEME KUVVETİ VE SAC MALZEMESİNİN SOYULMA DİRENCİ VE ORTALAMA SOYULMA KUVVETİNE ETKİSİ

kanıtlamaktadır. İki faktörün etkileşiminin bu değerden ($P=0.05$) oldukça yüksek olduğu dolayısıyla bu faktörün anlamlı bir farklılık oluşturmadığı görülmektedir. Tablo 5'e göre A, B ve A*B faktörlerinin ortalama soyulma kuvvetine etkisi sırasıyla %88.945, %8.99 ve %0.326 olarak bulunmuştur. Böylece, ortalama soyulma kuvvetini etkileyen en önemli faktörün sac metal malzemesi (A faktörü, %88.945) olduğu ve %8.99 oran ile presleme kuvvetinin (B faktörü) ikinci dereceden etkin faktör olduğu görülmüştür.

Tablo 4. Ortalama soyulma kuvveti ANOVA sonuçları

Kaynak	DF	SS	MS	F-değeri	P-değeri	Oran (%)
A	1	5825.44	5825.44	409.36	0.000	88.945
B	1	588.78	588.78	41.36	0.000	8.990
A*B	1	21.41	21.41	1.50	0.255	0.326
Hata	8	113.88	14.24			
Toplam	11	6549.52				

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada AISI 430 (EN 1.4016) sacın AISI 304 (EN 1.4301) ve EN AW 5754 kalitede ki saclar ile yapıştırılmasında sac metal malzemesinin ve uygulanan presleme kuvvetinin etkisi incelenmiştir. Tam faktöriyel deney tasarımına göre üretilen numuneler soyulma testine tabi tutularak soyulma dirençleri belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- İncelenen parametreler arasında çift katmanlı sacların soyulma direncine en önemli faktörün sac metal malzemesi (A faktörü, %73.247) olduğu tespit edilmiştir.
- Saclara uygulanan presleme kuvvetinin (B faktörü, %0.014) sacların soyulma direncine etki etmediği görülmüştür. Ancak uygulanan presleme kuvvetinin yapıştırıcı kalınlığını ve dolayısıyla oluşan çift katmanlı sacın kalınlığını etkilediği görülmüştür.
- Çift katmanlı sacların ortalama soyulma kuvvetine, sac metal malzemesine (A faktörü, %88.945) ek olarak presleme kuvvetinin de (B faktörü, %8.99) önemli ölçüde etkilediği görülmüştür.
- Presleme kuvvetinin artması ile birlikte ortalama soyulma kuvvetinde yaklaşık %25' lik bir artış sağlanmıştır. Bu artışa yüksek kuvvet altında yapıştırıcının homojen dağılması ve tüm yüzeye etki etmesi sebep olmuştur.
- Yapıştırılan sac çiftleri arasında en yüksek soyulma direnci (6.622 N/mm) ve ortalama soyulma kuvveti (120.215 N) AISI 304/EN AW 5754 çift katmanlı sacında elde edilmiştir.

Yapılan bu çalışma ile katmanlı sacların yapışma karakteristiği ve buna etkileyen parametreler hakkında bilgi sahibi olunmuştur. Yüzey pürüzlülüğünün ve yapıştırıcı tipinin yapışma kalitesine olan etkisi yapılacak çalışmalarda daha detaylı incelenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] VAN TOOREN M.J., Response 1 Airbus composite aircraft fuselages — next or never. In: Vermeeren C. (eds) Around Glare (pp. 145–157), Springer, Dordrecht, 2004.
- [2] WU, H.F., WU, L.L., “MIL-HDBK-5 design allowables for fibre/metal laminates: ARALL 2 and ARALL 3”, Journal of Materials Science Letters, 13(8), 582–585, 1994.
- [3] AUSTIN, T.S.P., GREGSON, P.J., DAKIN, J.P., POWELL, P.M., SINGH, M.M., “Fatigue Damage in Carbon Fiber Reinforced Aluminum Alloy Laminates”, Proc of 5th Int Conf on Deformation and Fracture of Composites, 5th International Conference on Deformation and Fracture of Composites, 191–200. United Kingdom, 1999.
- [4] KAWAI, M., HACHINOHE, A., “Two-stress level fatigue of unidirectional fiber–metal hybrid composite: GLARE 2”, International Journal of Fatigue, 24(5), 567–580, 2002.
- [5] SOKOLOVA, O.A., KÜHN, M., PALKOWSKI, H., “Deep drawing properties of lightweight steel/polymer/steel sandwich composites”, Archives of Civil and Mechanical Engineering, 12(2), 105–112, 2012.

C. G. DENGİZ, K. YILDIZLI

- [6] CARRADÒ, A., FAERBER, J., NIEMEYER, S., ZIEGMANN, G., PALKOWSKI, H., “Metal/polymer/metal hybrid systems: Towards potential formability applications”, *Composite Structures*, 93(2), 715–721, 2011.
- [7] IBARRA-CASTANEDO, C., AVDELIDIS, N. P., GRINZATO, E. G., BISON, P. G., MARINETTI, S., PLESCANU, C. C., BENDADA, A., MALDAGUE, X. P., “Delamination detection and impact damage assessment of GLARE by active thermography”, *International Journal of Materials and Product Technology*, 41(1–4), 5–16, 2011.
- [8] KIM, K.J., KIM, D., CHOI, S.H., CHUNG, K., SHIN, K.S., BARLAT, F., OH, K.H., YOUN, J.R., “Formability of AA5182/polypropylene/AA5182 sandwich sheets”, *Journal of Materials Processing Technology*, 139(1–3), 1–7, 2003.
- [9] MALEKI, H., BAGHERZADEH, S., MOLLAEI-DARIANI, B., ABRINIA, K., “Analysis of bonding behavior and critical reduction of two-layer strips in clad cold rolling process”, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 22(4), 917–925, 2013.
- [10] ASTM D1876-08(2015)e1, “Standard Test Method for Peel Resistance of Adhesives (T-Peel Test)”, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015.
- [11] KAMI, A., DARIANI MOLLAEI B., COMSA, D. S., BANABIC, D., VANINI SADOUGH, A., LIEWALD, M., “An Experimental Study on the Formability of a Vibration Damping Sandwich Sheet (Bondal)”, *Proceedings of the Romanian Academy, Series A*, 2017.
- [12] NICK, A., NICK, B., WORTMANN, F.J., “Peel testing of adhesively bonded joints of carbon fibre reinforced epoxy resin”, *European Structural Integrity Society*, 27261–271, 2000.
- [13] CARRADÒ, A., SOKOLOVA, O., DONNIO, B., PALKOWSKI, H., “Influence of corona treatment on adhesion and mechanical properties in metal/polymer/metal systems”, *Journal of Applied Polymer Science*, 120(6), 3709–3715, 2011.
- [14] LIU, J., XUE, W., “Formability of AA5052/polyethylene/AA5052 sandwich sheets”, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 23(4), 964–969, 2013.
- [15] MOORE, D., WILLIAMS, J., “The measurement of peel strength and the determination of the interfacial work of fracture for flexible laminates”, *European Structural Integrity Society*, 27231–246, 2000.
- [16] BREWIS, D.M., CRITCHLOW, G.W., “Locus of failure of T-peel joints formed between aluminium and various adhesives”, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 17(1), 33–38, 1997.
- [17] ASTM E8 / E8M-13, “Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials”, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013.