



**PERÇİNSİZ SAC BAĞLANTILARININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murat TURAN

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ÇETKİN

MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

EYLÜL 2019

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**PERÇİNSİZ SAC BAĞLANTILARININ MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Murat TURAN

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ÇETKİN

MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

EYLÜL 2019

TEZ ONAY SAYFASI

Murat TURAN tarafından hazırlanan “Perçinsiz Sac Bağlantılarının Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 26/09/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ÇETKİN
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Şükrü ÜLKER
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Rıza KARA
Uşak Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım
bu tez çalışmada;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

26/09/2019



Murat TURAN

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**PERÇİNSİZ SAC BAĞLANTILARININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ**

Murat TURAN
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilim Dalı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ÇETKİN

Bu araştırmada, Türk otomotiv sektörünün yenilerde tanıştığı sac birleştirme yöntemi olan form punta birleştirme yönteminin TS EN 10346 sacların üzerindeki uygulamaları incelenecektir. Endüstriyel sanayi kollarında, özellikle otomotiv sanayisinde birleştirme maliyetlerini azaltmak ve estetik bir görünüm elde etmek için son yıllarda tercih edilen form punta sac birleştirme yöntemi, ek bir bağlantı elemanına ihtiyaç duyulmaksızın sac levhaları birleştirme yöntemidir. Yöntemin vida, perçin gibi yabancı ara parça ve ek materyallere ihtiyaç duymadan, birleştirilecek levha malzemelerin sadece kendisini şekillendirerek birleştirme avantajı bulunmaktadır. Punta form sac birleştirme metodunu kullanarak, özellikle perçinli birleştirme yönetiminde ortaya çıkan ara parça ihtiyacı, kaynaklı birleştirmedeki kalifiye işçi maliyeti, iş güvenliği ve iş sağlığı üzerindeki istenmeyen durumların ortadan kaldırılmasını sağlamaktadır. Özellikle otomotiv endüstrisindeki robotik kullanımına da uygun olan bu yöntem sayesinde, farklı kalınlıkta ve farklı özellikteki sac levhaların birleştirilmesi, maliyet avantajı ve enerji kazanımı da sağlayacaktır.

Otomotiv endüstrisinde gövde ve diğer aksesuarlarında kullanılan Erdemir 1312 kalite sacların (TS EN 10346), punta form birleştirme yöntemiyle birleştirilmesi ile oluşan bağlantıların mekanik özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Birleştirilen numunelere TS EN ISO 14273 standardına göre kesme deneyi ve TS EN ISO 14270 standardına göre mekanize soyma deneyi uygulanmıştır.

2019, xii + 53 sayfa

Anahtar Kelimeler: Perçinsiz Sac Birleştirme, Form Punta, Clinching, Sheet metal, joining, otomotiv



ABSTRACT
M.Sc. Thesis

**DETERMINATION OF MECHANICAL
PROPERTIES OF SHEET METAL JOINTS WITHOUT USING RIVETS**

Murat TURAN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Machine Education

Supervisor: Asst. Prof. Ahmet ÇETKİN

In this study, the applications of the Clinching technic, which is the sheet metal joining method that Turkish automotive industry has recently met, will be examined on TS EN 10346 sheets. In the industrial industry, especially in the automotive industry, in order to reduce the cost of joining and to achieve an aesthetic appearance, the preferred method of tacking sheet metal joining method is the management of joining of sheet metal without the need for an additional fastener. The method has the advantage of joining only the sheet materials to be joined, without the need for foreign and additional materials such as screws, rivets. Using the clinching method, the need for parts, especially in the management of riveted jointing, eliminates the undesirable situations on the part of skilled workers in the welded joint, occupational health and safety. This method, which is also suitable for the robotic use in the automotive industry, will enable the combination of sheet metal of different thicknesses and different properties, cost advantage and energy recovery.

In order to examine the mechanical properties of the joints formed by the joining of Erdemir 1312 quality sheets (TS EN 10346), which are used in body and other accessories in the automotive industry with the clinching method, the samples prepared in accordance with the standards were combined with the joining method. Shearing test according to TS EN ISO 14273 standard and mechanized peeling test according to TS EN ISO 14270 standard have been applied to the joined samples.

2019, xii + 53 pages

Keywords: Rivetless Sheet Metal Joining, Punch Form, Clinching, Sheet metal, joining, automotive



TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım hocam Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ÇETKİN'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı eşim Emine TURAN ve oğlum Halil İbrahim TURAN'a teşekkür ederim.

Murat TURAN
AFYONKARAHİSAR, 2019

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
RESİMLER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	2
2.1 Perçinli Birleştirme Yöntemleri.....	4
2.1.1 Perçinleme Genel Bilgi	4
2.1.2 Perçinli Bağlantı Metotları.....	5
2.1.2.1 Sıcak Perçinleme.....	6
2.1.2.2 Soğuk Perçinleme	6
2.1.2.3 Otomatik Makine ile Perçinleme	7
2.1.3 Perçinli Bağlantı Çeşitleri.....	8
2.1.4 Perçin Çeşitleri ve Biçimleri.....	8
2.2 Perçinsiz Birleştirme Yöntemi.....	10
2.2.1 Form Punta Yöntemi ile Birleştirme.....	10
2.2.2 Form Punta Birleştirme Çeşitleri	12
2.2.2.1 Dairesel Birleştirme	12
2.2.2.2 Düz Birleştirme.....	12
2.2.2.3 Hareketli Birleştirme.....	13
2.2.2.4 Çift Etkili Birleştirme	13
2.2.2.5 Malzeme Sıkıştırılmalı Birleştirme	14
2.2.2.6 Özel Birleştirme	14
2.2.3 Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Galvanize Çelik Alaşımları.....	15
3. MATERYAL ve METOT	18
3.1 Deneyde Kullanılacak Malzemelerin Hazırlanması	18
3.2 Malzemelerin Form Punta Yöntemi ile Birleştirilmesi.....	22
3.3 Deneylerin Yapılması	25

3.4 Form Punta ile Birleştirilen Parçaların Kesit Görünüşlerinin İncelenmesi	28
4. BULGULAR	30
4.1 TS EN ISO 6892-1 standardına göre malzeme çekme deneyi.....	30
4.2 TS EN ISO 14270 standardına göre malzeme soyma deneyi	31
4.3 TS EN ISO 14273 standardına göre malzeme kesme deneyi	35
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	39
5.1 Öneriler	42
6. KAYNAKLAR.....	50
ÖZGEÇMİŞ.....	53



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

C	Karbon
Mn	Mangan
Si	Silisyum
P	Fosfor
S	Kükürt
Ti	Titanyum
R _e	Akma Mukavemeti
R _m	Çekme Mukavemeti
R _{p0.2}	Yüksek Sıcaklıkta Akma Mukavemeti

Kısaltmalar

AKÜ	Afyon Kocatepe Üniversitesi
A(alt)	Sac Levhanın Matris Tarafında Olması
BAPK	Bilimsel Araştırma Projesi Komisyonu
Max.	En çok
Min.	En az
U(üst)	Sac Levhanın Zımba Tarafında Olması

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Perçin Bağlantı Çeşitleri	8
Şekil 2.2 TS 94 Perçin sınıflandırılması	9
Şekil 2.3 Perçin Çeşitleri	9
Şekil 2.4 Form Punta Birleştirme	10
Şekil 2.5 Dairesel Formlu Birleştirme	11
Şekil 2.6 Dikdörtgen Formlu Birleştirme	11
Şekil 2.7 Yuvarlak Birleştirme	12
Şekil 2.8 Düz Birleştirme	12
Şekil 2.9 Hareketli Birleştirme	13
Şekil 2.10 Çift Etkili Birleştirme	14
Şekil 2.11 Malzeme Sıkıştırmalı Birleştirme	14
Şekil 2.12 Farklı Birleştirme	15
Şekil 3.1 TSE EN ISO 6892-1 standardına göre numune ölçüleri	19
Şekil 3.2 TSE EN ISO 14273 standardına göre belirlenmiş numune ölçüleri	20
Şekil 3.3 TSE EN ISO 14270 standartlarına göre hazırlanacak numune ölçüler	21
Şekil 4.1 TS EN ISO 6892-1 standardına göre yapılan deney sonuç grafiği	30
Şekil 4.2 Erdemir 0.5 mm alt-üst yük dayanım grafiği	32
Şekil 4.3 Erdemir 1 mm alt-üst yük dayanım grafiği	32
Şekil 4.4 Erdemir 1.5 mm alt-üst yük dayanım grafiği	33
Şekil 4.5 Erdemir 2 mm alt-üst yük dayanım grafiği	33
Şekil 4.6 Erdemir 0.5 mm alt-üst yük dayanım grafiği	35
Şekil 4.7 Erdemir 1 mm alt-üst yük dayanım grafiği	36
Şekil 4.8 Erdemir 1.5 mm alt-üst yük dayanım grafiği	36
Şekil 4.9 Erdemir 2 mm alt-üst yük dayanım grafiği	37
Şekil 5.1 Erdemir 0,5 mm alt-üst kalibrasyon oran grafiği	43
Şekil 5.2 Erdemir 1 mm alt-üst kalibrasyon oran grafiği	44

Şekil 5.3 Erdemir 1,5 mm alt-üst kalibrasyon oran grafiği	44
Şekil 5.4 Erdemir 2 mm alt-üst kalibrasyon oran grafiği	45
Şekil 5.5 Erdemir 0,5 mm alt-üst kalibrasyon oran grafiği	46
Şekil 5.6 Erdemir 1 mm alt-üst kalibrasyon oran grafiği	47
Şekil 5.7 Erdemir 1,5 mm alt-üst kalibrasyon oran grafiği	47
Şekil 5.8 Erdemir 2 mm alt-üst kalibrasyon oran grafiği	48



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Perçin bağlantının avantajları ve dezavantajları	5
Çizelge 2.2 Bazı soğuk şekillendirmeye uygun galvanizli saçların kimyasal bileşimi .	15
Çizelge 2.3 Bazı soğuk şekillendirmeye uygun galvanizli saçların mekanik özellikleri	16
Çizelge 3.1 TS EN ISO 6892-1 standardına göre numune boyutları	18
Çizelge 3.2 TS EN ISO 14273 standardına göre numune boyutları	20
Çizelge 3.3 TS EN ISO 14270 standardına göre numune boyutlar.....	21
Çizelge 3.4 Kesme deneyi numunelerin birleştirilme grupları ve sayıları	24
Çizelge 3.5 Soyma deneyi numunelerin birleştirilme grupları ve sayıları	25
Çizelge 4.1 Malzemelerin bazı mekanik özellikleri	31
Çizelge 5.1 TS EN ISO 14273 deney sonuçları	39
Çizelge 5.2 TS EN ISO 14270 deney sonuçları	40
Çizelge 5.3 TS EN ISO 14273 kalibrasyonlu deney sonuçları	43
Çizelge 5.4 TS EN ISO 14270 kalibrasyonlu deney sonuçları	46

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 2. 1 Sıcak Perçinleme Yapılışı	6
Resim 2. 2 Soğuk Perçinleme Yapılışı	7
Resim 2. 3 Otomatik Makine ile Perçinleme Yapılışı	8
Resim 3. 1 Nukon Lazer Kesim	19
Resim 3. 2 Tox Marka Form Punta Cihazı	22
Resim 3. 3 Saç malzemelerin form punta cihazı ile birleştirilmesi.....	23
Resim 3. 4 Kesme deneyi için birleştirilmiş malzemeler.....	24
Resim 3. 5 Soyma deneyi için birleştirilmiş malzemeler.....	25
Resim 3. 6 Instron 8801 model test makinesi	26
Resim 3. 7 Test için hazırlanmış numune ve test.....	26
Resim 3. 8 Soyma testi için hazırlanmış numune ve test.....	27
Resim 3. 9 Kesme testi için hazırlanmış numune ve test.....	28
Resim 3. 10 Metacut-M 250 Kesme Makinesi	29
Resim 4. 1 Çekme deneyi sonucunda kopan malzemeler	31
Resim 4. 2 Soyma deneyi malzemeleri	31
Resim 4. 3 Erdemir 1312 0.5 mm-0.5 mm birleştirilmiş malzeme kesiti	34
Resim 4. 4 Erdemir 1312 1 mm-1.5 mm birleştirilmiş malzeme kesit	34
Resim 4. 5 Kesme deneyi malzemeleri	35
Resim 4. 6 Erdemir 1312 0.5 mm üstte birleştirilmiş malzemeler kesiti.....	38
Resim 4. 7 Erdemir 1312 1 mm altta birleştirilmiş malzemeler kesiti.....	38
Resim 5. 1 Form punta ile birleştirilmiş malzeme kesiti	41

1. GİRİŞ

Ayrılabilir ve ayrılmaz birleşim yerlerinin montajı için uygun teknolojiler mevcut değilse, hiçbir araç tasarlanamaz ve üretilemez. Bireysel araç gövdesi bileşenlerinin birleştirilmesi, yalnızca tasarım ve işletme gereksinimlerini karşılayamayan, aynı zamanda uygun maliyetli bir şekilde üretilebilecek bir mekânsal yapı oluşturmayı mümkün kılar. Günümüzde motorlu taşıtların tasarım formu, bu tür taşıtların geliştirilmesinde yıllarca meydana gelen birçok değişikliğin bir sonucudur. Otomotiv endüstrisinde, araç yakıtlarının tüketimini en aza indirmek için çok çaba sarf edilmektedir. Daha yeni ve daha iyi araç gövdesi şekilleri ve gövdeleri imal etmek için kullanılan malzemeler ortaya çıkmaktadır. Gittikçe daha katı gereksinimleri karşılayabilen, yüksek mukavemet ve performans özelliklerine sahip malzemelerin talebi, yıldan yıla artmaktadır.

Malzeme mühendisliği de dahil olmak üzere yeni teknolojilerin dinamik gelişimi, otomotiv endüstrisini tamamen yeni bir duruma getiriyor. En büyük ilerleme teknolojilerin bilimleri alanında görülebilir ve birçok yeni materyal ortaya çıkıyor. Yeni materyaller sırayla yeni materyal birleştirme teknolojileri geliştirme ihtiyacına neden oluyor. Günümüz mühendisleri, araç bileşenlerinin genellikle farklı türlerdeki yeni malzemelerden montaj problemiyle karşı karşıya kalmaktadır. Günümüz dünyasında motorlu kara taşıtlarının imalatının aslında otomatik çevre dostu seri üretim anlamına geldiğini söyleyebiliriz. Günümüzün üretim felsefesi, çevresel etkinin en aza indirileceği şekilde ürünlerin imalatına dayanmaktadır. Süreç ve ürün yenilikleri özel tasarım ve süreç değişikliklerini beraberinde getirir. Ekolojik ve ekonomik yönlere olan artan baskı sonucunda, otomotiv üreticileri, yeni malzemelerden parça imalatında birleştirme teknolojilerinin kullanımına ilişkin yaklaşımlarını gözden geçirirler.

Bu çalışmada, form punta birleştirme teknolojisini kullanma olanaklarını, gelişim yönlerini ve bu alandaki yeni araştırma çalışmalarının yönlerini, otomotiv sektöründe kullanılan sac malzemelerin özellikleri ile ilgili çalışmalar yapılmıştır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Nong vd. (2003), yapmış oldukları araştırmada form punta birleştirme, geleneksel sac birleştirme teknolojisinden farklı olan birleştirme teknolojisi için yeni bir teknolojidir. Bir kalıp ve zımba kullanarak sac levhaların birleştirme işlemidir. Bu tür bir teknoloji son 10 yılda hızla gelişti ve otomotiv üretimi gibi alanlarda kademeli olarak uygulandı. Konvansiyonel punta kaynak işleminin avantajları ile karşılaştırıldığında, form punta birleştirme teknolojisinin belirgin avantajları, farklı malzemelerin ve çeşitli kalınlıklardaki sac levhaların birleştirilmesinde kullanılabileceğidir. Metalik sac ile metalik olmayan sacın birleştirme işlemi kaplanmış çelik saclar, galvanize çelik saclar, alüminyum plakalı çelik saclar, form punta kaplama katmanlarının yüzeylerini etkilemeden birleştirme yapılabilir.

Gibmeier vd. (2002), çalışmasında bir form oluşturarak iki veya daha fazla metal levhayı birleştirmek ve yardımcı malzemeye ihtiyaç duymadan form punta birleşimine zorlamak için lokal soğuk şekillendirmeye dayanan mekanik bir pres-birleştirme yöntemidir. Her ne kadar form punta birleştirme 100 yıldan uzun bir süredir bilinmesine rağmen, ancak son yıllarda, birleşimleri incelemek için endüstriyel ilginin artması nedeniyle teknik, örneğin punta kaynağı gibi birleştirme tekniklerine tamamlayıcı olarak başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Alternatif bir birleştirme tekniği olarak kapsamlı uygulamalar bulma potansiyeli, düşük maliyetlerine, esnekliğine ve çevresel uyumluluğuna dayanmaz.

Tan vd. (2005), yapmış oldukları çalışmada form punta yöntemi ile birleştirilen parçaların endüstriyel üretim ortamında proses izleme yöntemi ile uygulama koşullarındaki değişiklikleri izleme kabiliyetine sahip olduğunu gösterdi, böylece tekrarlanabilir bir ürün kalitesi sağlanabilirdi. Proses izleme yöntemiyle karşılaştırıldığında yönteminin iki ekstra avantajı vardır: biri izleme aşaması sırasında kısa süre tüketir, diğeri ise proses ile bir gözlem durumu sırasında hangi hataların ortaya çıkacağını ayırt etmek için daha fazla bilgi bulunmasıdır.

Varis (2003), yaptığı çalışmada yüksek mukavemetli yapısal çeliklerde kullanılan form punta birleştirme yöntem ve uygunluğunu test etmiş ev yapımı için kullanılan en uygun

malzemeler üzerinde form punta yöntemlerini denemiş toplam 11 farklı form punta yöntemini yüksek mukavemetli malzemelerde deneyerek yapısal çeliklerde form punta yönteminin kullanılmasının uygun olduğu ve en iyi sonucu dairesel profilli birleştirme takımının verdiği sonucuna varmıştır.

Carboni vd. (2006), yapmış oldukları çalışmada form punta yöntemi ile birleştirilen malzemelerde çekme ve kayma kuvvetleri sonucu malzemelerde oluşan statik ve yorulma davranışları üzerinde durmuştur. Deney sonucunda birleştirilen malzemelerde yorgunluk, çatlaklar ve makaslama kırıkları olmak üzere 3 farklı olumsuzluk olduğunu belirlemişlerdir.

Paula vd. (2007) yaptıkları çalışmalarda zımba ve birleştirme alt kalıbı için sonlu elemanlar yöntemi analizi kullanarak değişik geometriler modellemiş ve bu modeller üzerinde çalışmışlardır. Yapılan simülasyonlarda zımba çapının etkisi, boyun kalınlığı, kesme vuruşu ve geometrilerin etkisi incelenmiştir. Zımba ve alt kalıp geometrileri üzerinde denemeler yaparak uygun ve kullanışlı takım setlerini belirlemiştir.

Jayasekara vd. (2010), çalışmalarında form punta işlemi ile ince metal tabakaların birleştirilmesi tarif edilmektedir. Elastik-plastik ve rijit plastik sonlu eleman analizi form punta oluşturma işlemine ve davranışını incelemek üzere Coulomb sürtünme ve sabit kayma sürtünme kullanılarak uygulanmıştır. Kalıbın birleşim üzerindeki parametrik etkiyi araştırmak için kalıp çapı, kalıp derinliği, oluk genişliği ve oluk köşesi yarıçapı gibi dört değişken seçmiştir. Form punta dayanımı, sırasıyla soyulma dayanımı ve gerilme dayanımı gibi ayırma güçlü incelenerek değerlendirilmiştir. Simülasyon sonuçları, kalıp çapının ve derinliğinin form punta birleşiminin kalitesini kontrol etmek için en belirleyici parametreler olduğunu gösterirken, tabanın kalınlığı ayırma kuvvetlerini belirlemek için en önemli değerlendirme parametresi olduğunu göstermiştir.

Sjöström vd. (2005), çalışmalarında form punta birleştirme işlemi sırasında meydana gelen gerilmeler ve bu gerilmelerin kalıntı gerilme gevşemesi incelenmiştir. Dairesel ve dikdörtgen olmak üzere iki çeşit birleştirme formu kullanılmıştır. Birleştirilmiş

malzemeler 1 mm kalınlığında 304 östenitik paslanmaz çeliktir. Farklı sayıda yorulma döngüsünden sonra artık gerilmeler hem dairesel hem de dikdörtgen birleştirmelerde bulunmuştur.

Varis (2006), araştırmasında birleştirme yönteminde en çok kullanılan geometrilerin kare ve yuvarlak formlarda olduğunu yuvarlak geometrili birleştirmede yatay yönde dayanım kaymaya dirençli düzgün bir yapıda olduğunu vurgulamış. Bu yöntem kullanıldıkça çeşitli sorunlarla karşılaşıldığı ve bu sorunların beklentiler, sistematik bakım, sürekli deneme ve takip ile orantılı olduğunu belirtmiştir. Bir başka çalışmasında ise bu birleştirme yöntemini ekonomi yönünden araştırmış, maliyetsiz, katılsız en ucuz birleştirme olması ve teknolojiyi kolaylaştırması açısından incelemiştir.

Oudjene ve Ben-Ayed (2008), yapmış oldukları araştırmada standartlara tabi olmayan çalışmalarında yapılmasının gerekliliği ve geometrinin direnç ve dayanım ile yakın ilişkisi olduğu ile ilgili araştırmalar yapmış, değişik geometrileri Abaqus sonlu elemanlar yöntemiyle araştırmıştır. Bu araştırmanın sonucunda direnç yükleme ve çekme dayanımları için form punta yönteminde kullanılan optimum geometriler ile ilgili parametreleri belirlemiştir.

2.1 Perçinli Birleştirme Yöntemleri

2.1.1 Perçinleme Genel Bilgi

Metal ile metal olmayan (plastik, deri vb.) iki veya daha fazla sayıda parçayı bağlayabilen, esnek bir bağlantı olması sebebiyle titreşimlere karşı mukavemetli, ucuz ve çözülemeyen bir bağlantı şeklidir. Genelde hafif ve ince konstrüksiyonlar da tam emniyet sağlanır. İnşaat, gemi ve uçak taşıtlarında kaynak edilmesi zor veya imkânsız yerlerde sıklıkla kullanılır. Sızdırmazlık sağlamak amacıyla sıvı ve gaz basıncı altında çalışan kaplarda kullanılabilir. Sistemde ağırlık merkezini kolay sağlaması ve kuvvet dağılımını eşit sağlayabildiğinden köprü, vinç ve çelik yapılarda da kullanılır.

Her ne kadar günümüzün kaynak teknolojisi, perçin bağlantılarının önüne geçse de perçinleme işlemi sektörde hala kullanılmaktadır. Perçinleme işleminde; kaynakta olduğu gibi ergime sonucu moleküler değişim, yüksek iç gerilmeler, çekme ve çarpılmalar meydana gelmez. Ayrıca farklı cinsten malzemeleri güçlü bir biçimde birleştirebiliriz. İş gücü ve ekonomik olarak da daha hesaplıdır. Tüm birleştirme yöntemlerinde olduğu gibi perçinle bağlantının da birtakım avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Çizelge 2.1’de bu özelliklere yer verilmiştir.

Çizelge 2.1 Perçin bağlantının avantajları ve dezavantajları (Durdu 2006).

Avantajları	Dezavantajları
1. Üretim adetleri fazladır	1. Perçin bağlantısı kolay çözülebilen bir bağlantı değildir.
2. Perçin bağlantısı sadece birleştirme amaçlı değil, aynı zamanda elektriksel kontak gibi birçok amaç için de kullanılabilir.	2. Bağlantının çekme ve yorulma dayanımları, cıvatalı bağlantı ve kaynak bağlantısına göre göreceli olarak zayıftır.
3. İlk yatırım maliyeti ve bakım maliyeti düşüktür.	3. Perçin bağlantısı normal koşullarda korozyona dayanıklı değildir.
4.Farklı malzemeler ve farklı kalınlıklardaki birçok malzeme hiçbir zorlukla karşılaşmadan birleştirilir.	4. Gıda, kimya ve ilaç endüstrisi gibi bazı sektörlerde çıkık perçin başları kir ve mikrop toplanabilecek bölgeler oldukları için istenmezler.
5. İhtiyaca göre perçin malzemesi çok geniş bir yelpaze arasından seçilebilir. (çinko, kurşun gibi)	5. Uygulama için kalifiye elemana ihtiyaç vardır.

2.1.2 Perçinli Bağlantı Metotları

Perçinle bağlantı sıcak ya da soğuk yapılabildiği gibi; çekiçle, sabit basınçla ve ezme yöntemiyle de yapılabilmektedir. Perçinle bağlantı üç ana başlık altında incelenebilir:

1. Sıcak Perçinleme
2. Soğuk Perçinleme
3. Otomatik Makine ile Perçinleme

2.1.2.1 Sıcak Perçinleme

Sıcak perçinleme işlemi genellikle yapılarda, metal konstrüksiyonlarda kullanılan büyük perçinlerin parçalara kolayca yerleştirilebilmesi için yapılan bir procestir. Çapları 10 mm ‘den daha büyük olan perçinler için genellikle sıcak perçinleme uygulanmaktadır. Büyük perçinlerin parçalar üzerine yerleştirilmesinde karşılaşılan zorluk nedeniyle sıcak perçinleme işlemi için öncelikle perçin yüksek bir sıcaklığa kadar ısıtılır. Bu sayede yumuşak ve şekillendirilebilir bir hale gelen perçin parçalar üzerindeki deliğe yerleştirilir. Daha sonra bir çekikle perçinin delik dışında kalan kısmına vurularak kafası şişirilir ve burada bir kapama kafası oluşturulur. Kapama kafası oluşturma işlemi el çekici ya da hava çekici kullanılarak yapılabilir.



Resim 2. 1 Sıcak Perçinleme Yapılışı (İnt.Kyn.1).

2.1.2.2 Soğuk Perçinleme

Soğuk perçinleme işlemi genellikle küçük ev aletleri, elektronik ürünler gibi üzerinde küçük perçinler taşıyan bağlantılarda uygulanır. Çapları 10 mm‘den küçük olan ve hafif metallerden yapılan perçinler için bu tip bir perçinleme yöntemi kullanılması uygundur. Soğuk perçinleme işleminde üst üste oturtulan parçaların delikleri içinden perçin geçirilir. Bu işlem oda sıcaklığında yapılmaktadır. Daha sonra ise yine el çekici ya da hava çekici yardımıyla perçinin delik dışında kalan gövdesine vurularak perçin dövölür ve burada bir kapama kafası oluşturulur.



Resim 2. 2 Soğuk Perçinleme Yapılışı (İnt.Kyn.2).

2.1.2.3 Otomatik Makine ile Perçinleme

Otomatik perçinleme işlemi soğuk perçinleme işlemi gibi oda sıcaklığında yapılmaktadır. Bu tip perçinleme işleminde perçinler parçalar üzerindeki deliklere otomatik olarak takılmaktadır. Perçin beslemesi makine üzerinde dahili olarak bulunan bir vibratör yardımıyla sağlanmaktadır. Otomatik makine ile perçinleme işlem, sıcak ve soğuk perçinlemeye göre daha ucuzdur ve hassasiyeti el ile yapılan perçinlemeye göre çok daha iyidir. Ayrıca otomatik perçinleme yönteminde işlem süresi de kısalmaktadır. Tüm bunların yanında otomatik perçin presi için diğer tüm perçinleme yöntemlerine nazaran daha yüksek bir ilk yatırım maliyeti gerektiği için, otomatik perçin presleri genellikle hep aynı ölçülerde perçinin kullanıldığı ve üretim adetlerinin yüksek olduğu işletmelerde tercih edilmektedir.

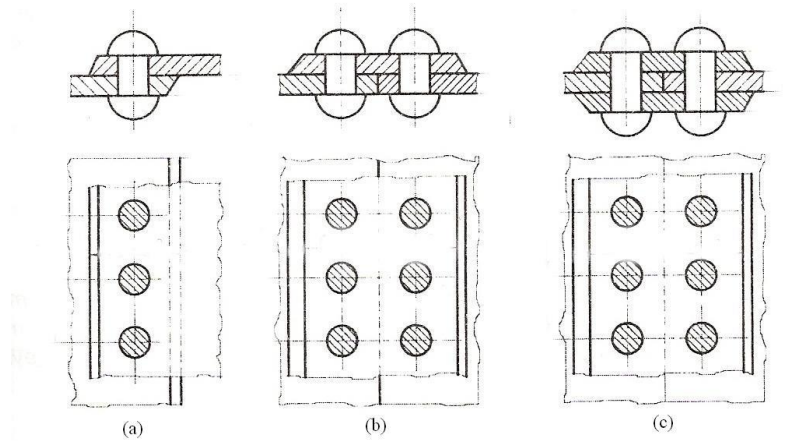


Resim 2. 3 Otomatik Makine ile Perçinleme Yapılışı (İnt.Kyn.3).

2.1.3 Perçinli Bağlantı Çeşitleri

Sanayide kullanılan üç ayrı perçin bağlantı çeşidi bulunmaktadır. Bu bağlantılar şu şekildedir:

a) iki saçın bindirme ile perçinlenmesi, b) tek yamalı perçinleme, c) çift yamalı perçinlenmesi verilmiştir.

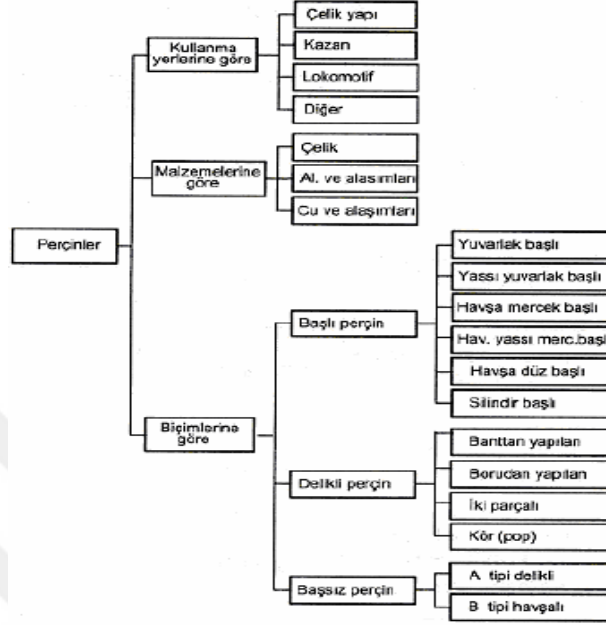


Şekil 2.1 Perçin Bağlantı Çeşitleri

2.1.4 Perçin Çeşitleri ve Biçimleri

Perçinler kullanıldıkları yerlerin özelliklerine göre çeşitli biçim ve tiplerde üretilir. Parçaları sökülemeyecek şekilde sızdırmazlık sağlamak veya sadece bağlamak amacıyla kullanılır. Bunun için perçinler; biçimlerine, yapıldığı gereçlere ve kullanım yerlerine

göre sınıflandırılır. Perçinler TS 94'e göre standartlaştırılmış olup sınıflandırılmaları Şekil 2.2'de çeşitleri ise Şekil 2.3'de biçimleri görülmektedir.



Şekil 2.2 TS 94 Perçin sınıflandırılması (İnt.Kyn.4).

PERÇİN ÇEŞİTLERİ					
Perçin adı	Standartı	Perçin şekli	Perçin adı	Standartı	Perçin şekli
Çapı 10-36 mm olan perçinler					
Çelik inşaat için, yuvarlak başlı perçin	TS 94/2		Balatalar için Silindr başlı perçin	TS 94/10	
Kazan yapımı için yuvarlak başlı perçin	TS 94/3		İç delik Banttan çekilmiş perçin	TS 94/11	
Havşa mercek başlı perçin	TS 94/6				
Çapı 1-9 mm olan perçinler					
Yuvarlak başlı perçin	TS 94/1		İç delik Borudan yapılmış perçin	TS 94/12	
Yassı yuvarlak başlı perçin	TS 94/4				
Havşa mercek başlı perçin	TS 94/5		İç delik İki parçalı perçin	TS 94/13	
Havşa -yassı mercek başlı perçin	TS 94/7				
Havşa -düz başlı perçin	TS 94/8		Başsız perçin	TS 94/14	
Havşa -düz başlı ucu konik perçin (Kayışlar için)	TS 94/9		Kör perçin	DIN 7337	

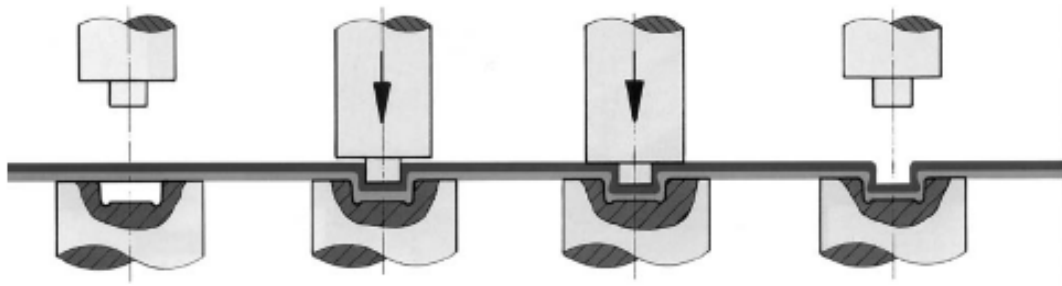
Şekil 2.3 Perçin Çeşitleri

2.2 Perçinsiz Birleştirme Yöntemi

2.2.1 Form Punta Yöntemi ile Birleştirme

Günümüzde çelik kullanımı hızla artmaktadır. Malzemeleri birleştirmek için yeni metotlar aranmaktadır. En çok ümit veren metotlardan biride form punta yöntemi ile perçin siz birleştirmedir. Yaklaşık olarak 40 yıl içinde kullanılan ve araştırılmaya başlanmıştır. Form punta yöntemi ile birleştirmede, perçin, vida ve diğer bağlantı elemanları olmadan sac levhaları birleştirme yöntemidir (şekil 2.4). Bu yöntemde yabancı parça ve herhangi bir ek malzemeye ihtiyaç duymadan, birleştirilecek malzemelerin kendisini bir kalıp vasıtası ile şekillendirerek birleştirme sağlanmaktadır. Form punta birleştirme sistemi uygulanan levhalar plastik soğuk akma sayesinde birbiri içerisinde kenetlenebilecek bir form oluşturur. Kaplanmış sac malzeme veya galvanizli malzemelerin yanı sıra çelik ve alüminyum birleştirilmelerinde iyi sonuçlar vermektedir.

Bu birleştirme metodu kolay şekil alabilirliği göz önünde bulundurularak öncelikle galvanizli sac ürünlerinde denenmiş ve olumlu sonuçlar alınmıştır. Öncelikle klima ve havalandırma sistemlerinde kullanılması düşünülen bu sistem günümüzde çelik konstrüksiyon ve otomotiv seri üretiminde kullanılmaktadır (Dingfeld 2008).



Şekil 2.4 Form Punta Birleştirme (İnt.Kyn.7).

Form punta birleştirmenin avantajları;

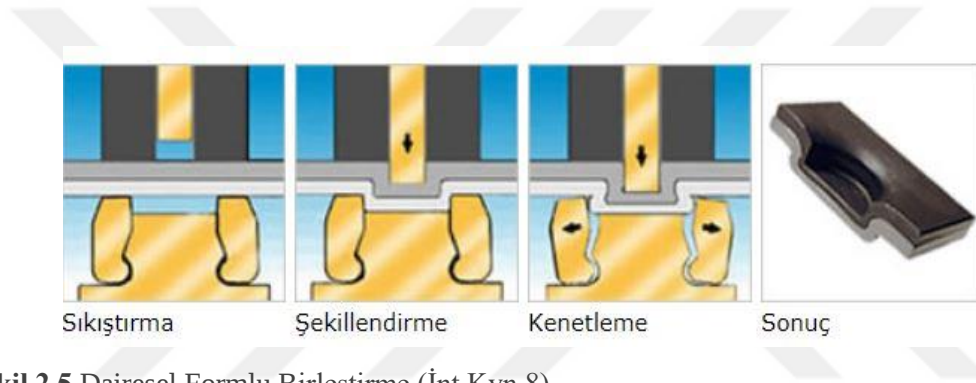
- Düşük maliyet. Tek adım işlemlerden dolayı enerji kullanımı çok az.
- Çabuk ve kolay otomasyon

- Takımların uzun süre kullanımı (200.000 birleştirme)
- Sağlıklı ve güvenli bir işlemdir. Çünkü birleştirmede az gürültü ve ısı söz konusu değildir.

Genellikle birleştirmelerde dikdörtgen ve dairesel olmak üzere iki tip birleştirme formu kullanılmaktadır.

a) Dairesel formlu birleştirme

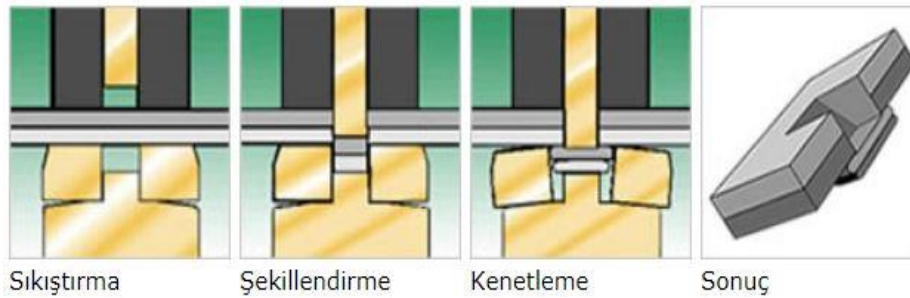
Bu birleştirme biçiminde parçalar lokal bir deformasyonla karşı karşıya kalarak kalıplar yardımıyla kenetlenmektedirler. Soğuk şekillendirme sayesinde birbirine kenetlenen malzemeler oldukça iyi sonuç vermektedir.



Şekil 2.5 Dairesel Formlu Birleştirme (İnt.Kyn.8).

b) Dikdörtgen formlu birleştirme

Bu birleştirme biçimi sert çelik ve paslanmaz malzemelerde kullanılmaktadır. Kesme birleştirme olarak ta adlandırılan bu sistem 1980'li yıllarda ilk olarak klima ve havalandırma kanallarında kullanılmak üzere tasarlanmış, galvanizli çelik sac malzemelerin hızlı ve kolay birleşimi sağlanmıştır.

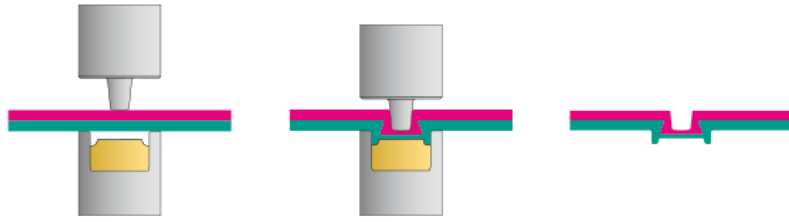


Şekil 2.6 Dikdörtgen Formlu Birleştirme (İnt.Kyn.8).

2.2.2 Form Punta Birleştirme Çeşitleri

2.2.2.1 Dairesel Birleştirme

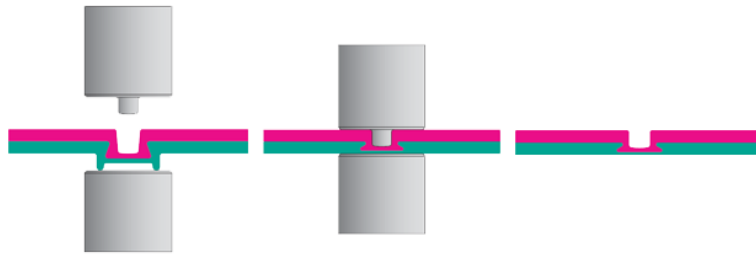
Basit bir daireysel zımba yardımıyla birleştirilecek malzemeleri kalıp boşluğuna bastırır (Şekil 2.7). Kuvvet artmaya devam ettikçe, delgi tarafı malzemesi kalıp tarafı malzemesi içinde dışarıya doğru yayılmaya zorlanır. Korozyona maruz kalabilecek çapak veya keskin kenarlar olmadan açıkça birleştirilen, estetik açıdan hoş daireysel bir birleşme sağlanır. Alüminyum veya galvanize edilmiş sac metallerde bile, koruyucu tabaka malzemedan akarken malzemenin özellikler bozulmadan kalır. Sac metal daireysel birleştirme sistemleri, en son üretim ve yüzey kaplama teknikleri kullanılarak yapılır ve uzun ömür ve yüksek birleşme kalitesi sağlar.



Şekil 2.7 Daireel Birleştirme (İnt.Kyn.7).

2.2.2.2 Düz Birleştirme

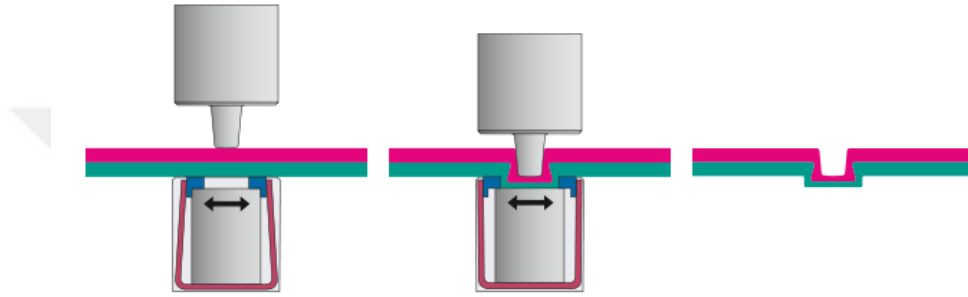
Düz birleştirmede, daireysel birleştirme yapılmış malzeme kullanılır. Bir ikinci işlem olarak da düşünülebilir. Dairesel birleştirme sırasında oluşan çıkıntı istenmeyen durumlarda düzleştirilir. Düz bir zımba yardımı ile birleştirme işlemi yapılır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Düz Birleştirme (İnt.Kyn.7).

2.2.2.3 Hareketli Birleştirme

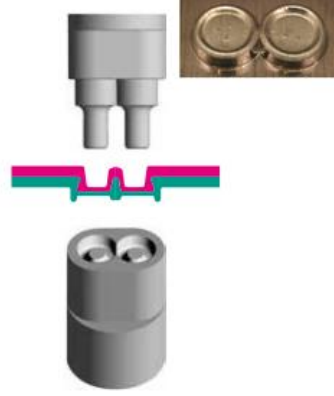
Sabit ve hareketli parçaları olan özel bir kalıptır. Materyaller ve zımba sabit parçalar tarafından ortalanır, böylece bağlantı oluşumunun mükemmel bir şekilde eş merkezli olduğunu garanti eder (Şekil 2.9). Sabit bölümler arasında yer alan hareketli bölümler, eklemdeki malzemelerin birbirine kenetlenmesini sağlar. Daireel ve düz birleştirme işlemlerinin bir proses de yapılmasını sağlar.



Şekil 2.9 Hareketli Birleştirme (İnt.Kyn.7).

2.2.2.4 Çift Etkili Birleştirme

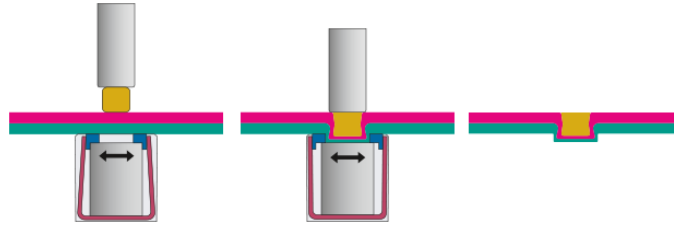
Çift etkili sac birleştirme sistemi, kaynak ve perçinleme gibi ayrılmaz yöntemlerle ilgili alternatif bir teknolojidir. Çoğu durumda, aynı zamanda bükme ve vidalama yöntemlerinin yerini alır. İlk bağlantı noktası ve çeşitleri ile birlikte, sac metalleri birleştirmek için geniş bir olasılık yelpazesi oluşturur. Bu birleştirme 2'si 1 arada bir çözümdür. Bir takım zımba ve kalıp seti kullanılarak presin bir darbesinden oluşan iki birleştirme meydana getirir (Şekil 2.10). Çift etkili birleştirmenin temel özelliği, kayma dayanımı ve çekme dayanımı arttırmaktır. İki birleştirme boşluğunun çok yakın konumlandırılması, birleştirmelerin arka arkaya yerleştirildiği uzun bileşenlerde meydana gelebilecek deformasyon etkisini azaltır.



Şekil 2.10 Çift Etkili Birleştirme (İnt.Kyn.7).

2.2.2.5 Malzeme Sıkıştırılmalı Birleştirme

Malzeme sıkıştırılmalı birleştirme yöntemi özel avantajı basit ve simetrik perçin olmasıdır. Kuvvet uygulandıktan sonra malzeme çeneler arasına girer. Çeneler yardımıyla X ekseninde bir kuvvet uygular böylece köşelerdeki boşluklar kapanmış olur(Şekil 2.11). Birleştirilecek olan malzemeler ek bir tutucu eleman kazanır. Temiz ve yüksek oranda tekrarlanabilir bir bağlantı oluşturulur. Sıkıştırılmış malzemenin doldurulması nedeniyle, birleşmiş malzemenin özellikle kayma mukavemeti artar. Malzeme sıkıştırma birleştirmeler ince saclarla kullanım için uygundur.

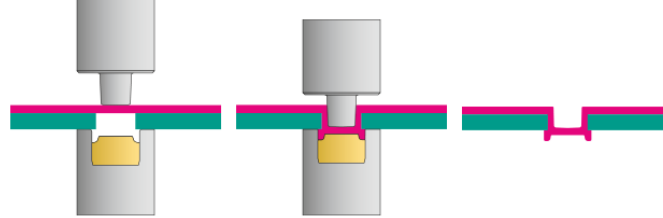


Şekil 2.11 Malzeme Sıkıştırılmalı Birleştirme (İnt.Kyn.7).

2.2.2.6 Özel Birleştirme

Özel bir birleştirme çeşidi olup birleştirilecek olan malzemelere önceden proses işlemi yapılır. Bu birleştirmenin yapılışı bir parçanın diğer parça üzerine katlanarak ya da sıvanarak yapılır (Şekil 2.12). Sac kalınlıklarında büyük farklılıklar olan metallerin birleştirilmesi. Sünek olmayan veya yüksek gerilme mukavemetli bir sac metal

malzemenin sünek bir olanla birleştirilmesi. Sac ve çelik döküm, yay çeliği kombinasyonlarının birleştirilmesi. Sac metallerin metalik olmayan malzemelerle birleştirilmesi plastikler, elastomerler, kâğıt, karton.



Şekil 2.12 Farklı Birleştirme (İnt.Kyn.7).

2.2.3 Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Galvanize Çelik Alaşımları

Galvanize yassı çelikler, soğuk haddelenmiş metalin sıcak daldırma prosesi ile, her iki yüzeyinin de çinko tabakası ile kaplanması sonucu üretilirler. Çelik yüzeyinde çinko kaplamanın oluşturulmasından sonra, indüksiyon ile ısıtma sonucunda ara yüzeydeki kaplamanın çinko demir alaşım tabakasına dönüştürülmesi ile galvanize yassı çelikler üretilir.

Atmosfere açık alanlarda malzemede oluşacak korozyonu engellemeye ve malzeme ömrünü artırmaya yönelik yapılan bu kaplama işlemi ile üretilen galvanizlenmiş malzemeler, özellikle otomotiv sektörü ve dış yüzey kaplama yapan sektörlerin en önemli girdisini oluşturmaktadır.

Çizelge 2.2 Bazı soğuk şekillendirmeye uygun galvanizli sacların kimyasal bileşimi (İnt.Kyn.9).

Standart	Karşılığı	ERDEMİR	C	Si	Mn	P	S	Ti
Standart	Kalite	Kalite No	max.	max.	max.	max.	max.	max.
EN10346	DX51D+Z	1311	0,18	0,5	1,2	0,12	0,045	0,3
EN10346	DX52D+Z	1312	0,12	0,5	0,6	0,1	0,045	0,3
EN10346	DX53D+Z	1313	0,12	0,5	0,6	0,1	0,045	0,3
EN10346	DX53D+Z	1303	0,12	0,5	0,6	0,1	0,045	0,3
EN10346	DX54D+Z	1314	0,12	0,5	0,6	0,1	0,045	0,3
EN10346	DX54D+Z	1304	0,12	0,5	0,6	0,1	0,045	0,3
EN10346	DX56D+Z	1315	0,12	0,5	0,6	0,1	0,045	0,3
EN10346	DX57D+Z	1317	0,12	0,5	0,6	0,1	0,045	0,3

Çizelge 2.3 Bazı soğuk şekillendirmeye uygun galvanizli sacların mekanik özellikleri (İnt.Kyn.9).

Standart Karşılığı		ERDEMİR Kalite No	Garanti Süreleri		R _g R _{p0.2} /R _{gL} N/mm ²	R _m N/mm ²	A ₈₀ (%)	r ₉₀	n ₉₀
Standart	Kalite		Mekanik Değerler	Akma İzi Oluşmaması	(kg/mm ²)	(kg/mm ²)	min.	min.	min.
EN 10346	DX51D+Z	1311	1 ay	-	-	270-500 (27,6-51,0)	22	-	-
EN 10346	DX52D+Z	1312	1 ay	-	140-300 (14,3-30,6)	270-420 (27,6-42,8)	26	-	-
EN 10346	DX53D+Z	1313	1 ay	-	140-260 (14,3-26,5)	270-280 (27,6-38,7)	30	-	-
EN 10346	DX53D+Z	1303	1 ay	-	140-260 (14,3-26,5)	270-280 (27,6-38,7)	30	-	-
EN 10346	DX54D+Z	1314	6 ay	6 ay	120-220 (12,2-22,4)	260-350 (26,5-35,7)	36	1,6	0,18
EN 10346	DX54D+Z	1304	6 ay	6 ay	120-220 (12,2-22,4)	260-350 (26,5-35,7)	36	1,6	0,18
EN 10346	DX56D+Z	1315	6 ay	6 ay	120-180 (12,2-18,4)	260-350 (26,5-35,7)	39	1,9	0,21
EN 10346	DX57D+Z	1317	6 ay	6 ay	120-170 (12,2-17,3)	260-350 (26,5-35,7)	41	2,1	0,22

Otomotiv sektörünün geliştirilmiş korozyon direnci ve boya adhezyonu gereksinimlerini en üst düzeyde karşılayan galvanize ürünlerin, otomotiv endüstrisindeki kullanımı özellikle son yıllarda çok artmıştır. Günümüzde çoğu otomobil üreticileri hem iç yüzey hem de dış yüzey parça üretimlerinde galvanize saclar kullanarak, ürettikleri araçlara korozyona karşı ömür boyu garanti verebilmektedir. Sıcak daldırma galvanize çelikler araç gövdesinin çeşitli parçalarında kullanılmaktadır. Yapı sektöründe sıcak daldırma galvanize/ galvanile çelikler geniş bir kullanım alanına sahiptir. Uygulanacak alanın atmosferik şartlarına ve istenilen korozyon direncine bağlı olarak değişik kaplama kalınlıklarında çatı, kapı, profil gibi çeşitli uygulamalarda kullanılır. Beyaz eşya sektöründe görünmeyen iç yüzeylerde kullanılan galvanizli sacların, dış yüzeylerde de kullanılmaya başlanmasıyla birlikte, beyaz eşya ürünleri parçalarının büyük bir bölümü galvanizli saclardan üretilmeye başlanmıştır (İnt.Kyn.9).

Başlıca avantajları;

- Korozyon direnci.

- Mükemmel yüzey görünümü.
 - Şekillendirilebilirlik.
 - Boyanabilirlik.
 - Kaynaklanabilirlik.
- olarak sıralanabilir(İnt.Kyn.9).

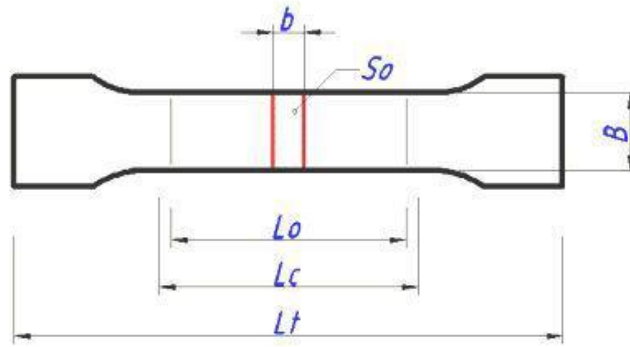


3. MATERYAL ve METOT

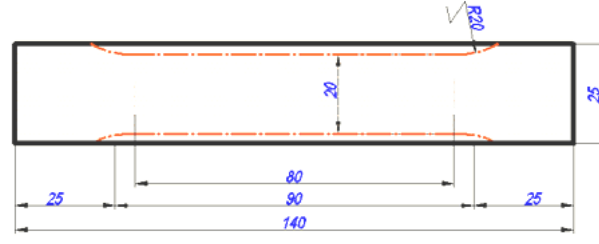
3.1 Deneyde Kullanılacak Malzemelerin Hazırlanması

Yapılacak olan deneylerde otomotiv gövde ve diğer aksesuarlarında yaygın olarak kullanılan 0,5 mm 1 mm, 1,5 mm, 2 mm kalınlıklarında Galvanizli Erdemir 1312 sac malzemeler kullanılmıştır. Bu malzemelerden TSE EN ISO 6892-1 (Çizelge 3.1) standardına uygun olarak ve her kalınlıktan onar adet olacak şekilde numuneler kesilmiş (Şekil 3.1). Bu numuneler belirlenen ölçülerde otomatik cnc lazer tezgahında kesilerek deneye hazır hale getirilmiştir (Resim 3.1). Hazırlanan bu numunelere çekme deneyi uygulanarak malzemelerin mekanik özellikleri belirlenecektir.

Çizelge 3.1 TS EN ISO 6892-1 standardına göre numune boyutları



Sembol	Anlamı	Kullanılan Boyut
b	Kalınlık (mm)	1-1,5-2-2,5
B	Numune Genişliği(mm)	20
L _c	Paralel Uzunluk (mm)	120
L _t	Toplam Uzunluk(mm)	140
L _o	İlk Ölçü Uzunluğu(mm)	80
S _o	İlk Kesit(mm ²)	20-30-40-50



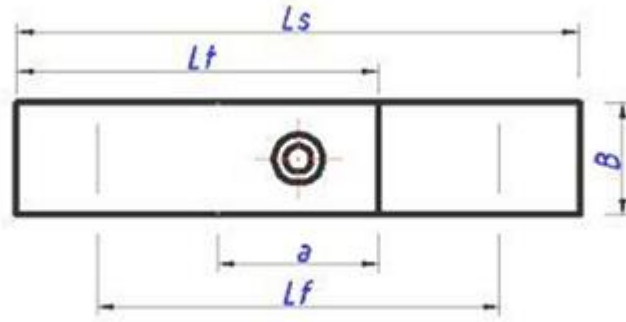
Şekil 3.1 TSE EN ISO 6892-1 standardına göre numune ölçüleri



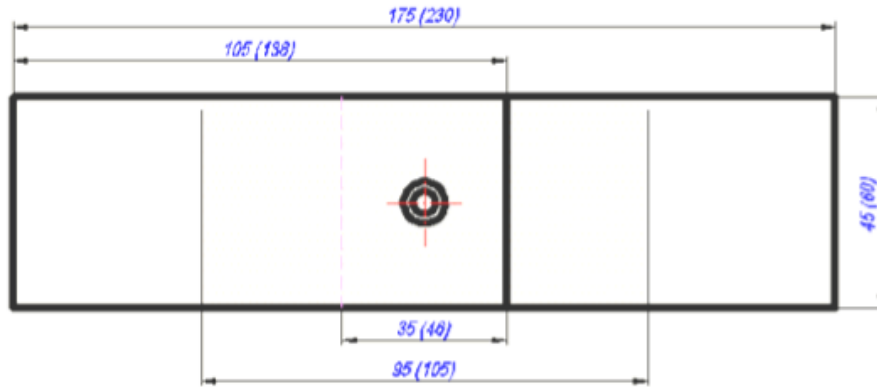
Resim 3. 1 Nukon Lazer Kesim

Çekme deneyinde kullanılacak numuneler hazırlandıktan sonra form punta yöntemiyle birleştirilecek numuneler TSE EN ISO 14273 (Çizelge 3.2) standardına uygun olarak cnc lazer de kesilerek hazırlanmıştır. Numuneler 0,5 mm, 1mm, 1,5 mm, 2 mm Erdemir 1312 galvanizli çelik malzemeler birbirleriyle birleştirilecek şekilde gruplandırılmış, oluşturulan her gruptan beşer takım olacak şekilde birleştirme işlemi için hazır hale getirilmiştir. Malzemelerin kesilmesi ve hazırlanması safhasında standartlarda belirtilen ölçülere hassasiyetle dikkat edilmiştir (Şekil 3.2).

Çizelge 3.2 TS EN ISO 14273 standardına göre numune boyutları



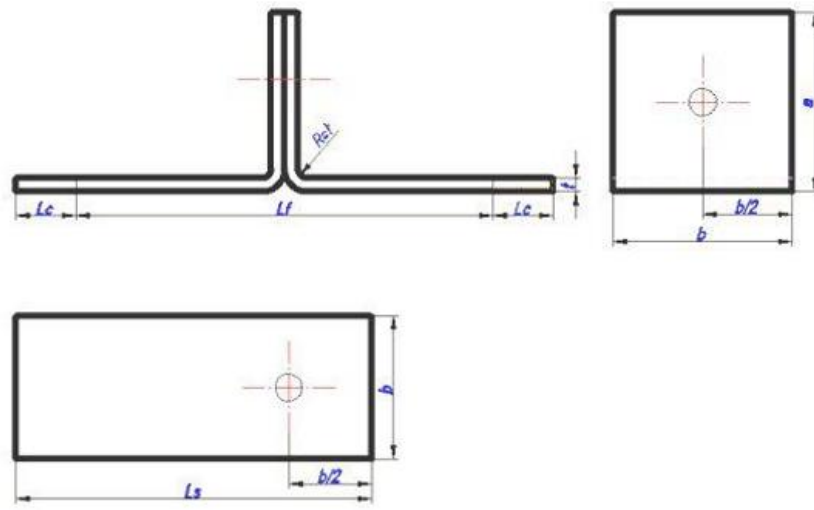
Sembol	Anlamı	Kullanılan Boyut	
		0,5<t<1,5	1,5<t<3
a	Bindirme Uzunluğu (mm)	35	46
B	Numune Genişliği(mm)	45	60
L _s	Toplam Uzunluk (mm)	175	230
L _t	Bir Numunenin Uzunluğu(mm)	105	138
L _f	Kıskaçlar arasındaki serbest uzunluk (mm)	95	105



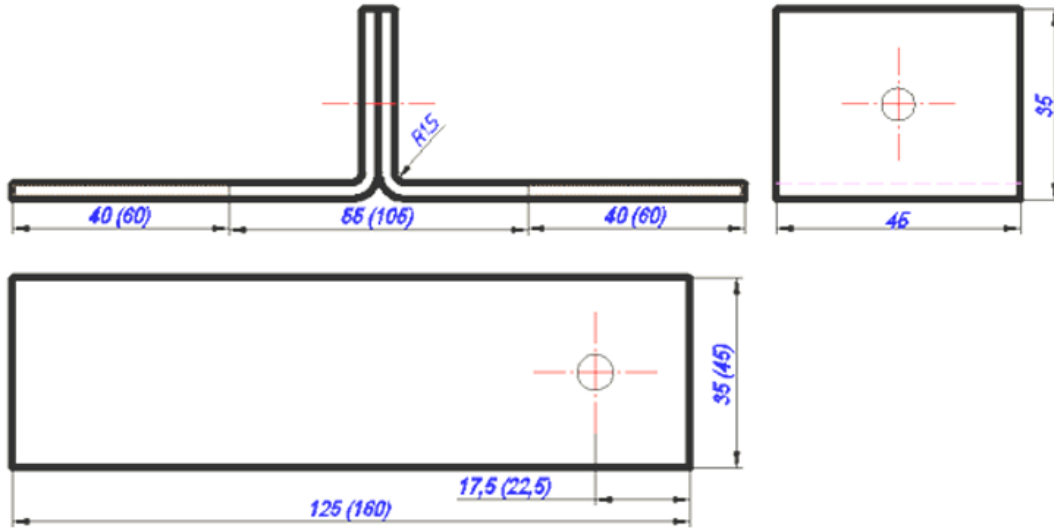
Şekil 3.2 TSE EN ISO 14273 standardına göre belirlenmiş numune ölçüleri

Son olarak kabuk soyma deneyi için kullanacağımız malzemeler TSE EN ISO 14270 (Çizelge 3.3) standartlarına uygun ölçülerde kesilmiş ve belirlenen ölçülerden 90° açıyla bükülmüştür. Hazırlanan malzemeler kendi aralarında gruplandırılarak form punta yöntemiyle birleştirilmiş ve numuneler deneye hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.3).

Çizelge 3.3 TS EN ISO 14270 standardına göre numune boyutlar



Sembol	Anlamı	Kullanılan Boyut	
		0,5<t<1,5	1,5<t<3
a	Bindirme Uzunluğu (mm)	35	46
B	Numune Genişliği(mm)	45	60
L _s	Toplam Uzunluk (mm)	175	230
L _t	Bir Numunenin Uzunluğu(mm)	105	138
L _f	Kıskaçlar arasındaki serbest uzunluk (mm)	95	105



Şekil 3.3 TSE EN ISO 14270 standartlarına göre hazırlanacak numune ölçüler

Numuneler belirtilen standart ve sayılarda kesilip hazırlandıktan sonra form punta yöntemi ile birleştirme işlemine geçilmiştir.

3.2 Malzemelerin Form Punta Yöntemi ile Birleştirilmesi

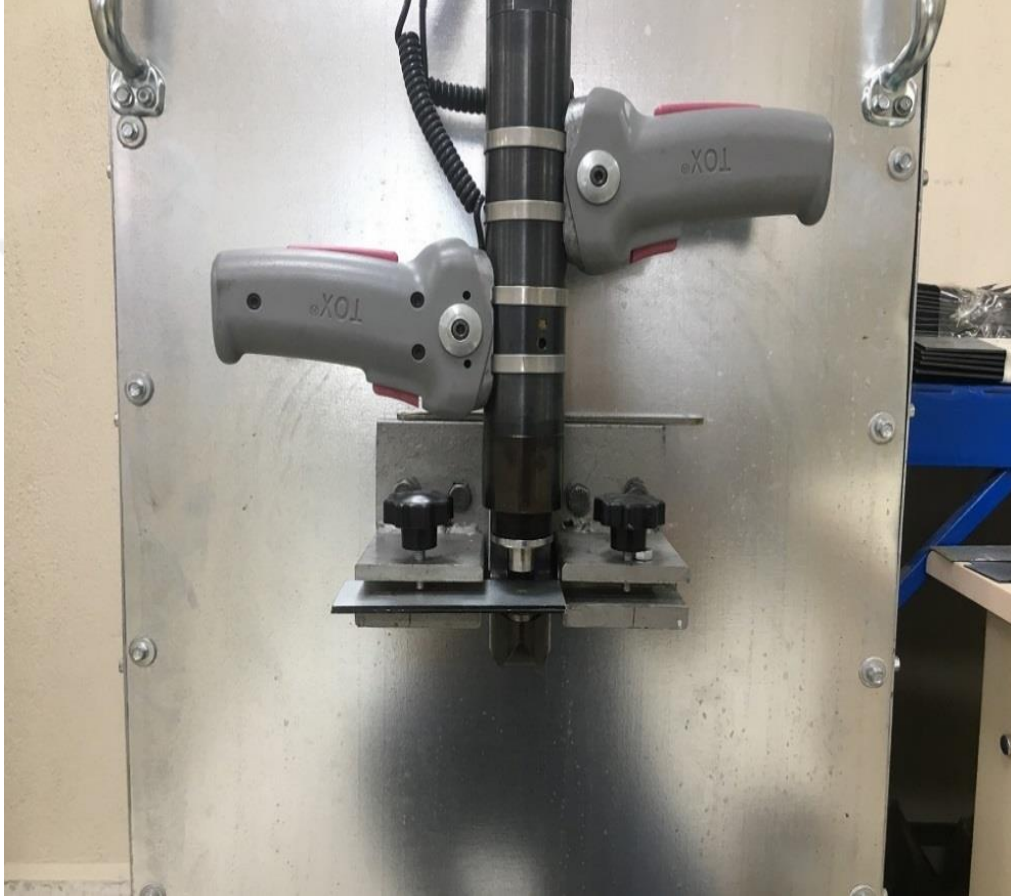
Hazırlanmış olan parçaların birleştirme işlemi için Tox firmasına ait el tipi birleştirme makinesi kullanılmıştır (Resim 3.2). Ortalama 50 kN güç kapasitesi olan bu makine yarı pnömatik ve yarı hidrolik olarak çalışmaktadır. Makinenin birleştirme işlemini yapabilmesi için yaklaşık 6 Bar basıncında havaya ihtiyacı olmaktadır. Birleştirebileceği toplam malzeme kalınlığı 4 mm ile sınırlıdır. Malzeme kalınlığını algılayan pnömatik tetikleyici sensör sayesinde parçaların birleşme esnasında kopmaları engellenmektedir. Takım ömrü kullanılan malzemenin özelliği ve kalınlığı ile orantılı olarak 30000 – 120000 parça olarak belirtilmiştir.



Resim 3. 2 Tox Marka Form Punta Cihazı

Hazırlanmış olan galvaniz sac malzemeler birbirleriyle birleştirilmeden önce standartlarda belirlenmiş ölçülere göre markalanarak birleştirme noktaları belirlenmiştir.

Daha sonra numuneler sabitleme aparatının yardımıyla birleştirme makinesinin birleştirme çenelerine ölçülere uygun olarak merkezlenmiştir. Yardımcı aparata, işleme başlamadan önce bir defaya mahsus numuneleri makine çenelerine odaklayacak şekilde ayar yapılması gerekmektedir. Bu ayarlar yapıldıktan sonra numuneler aparata ait kanallara yerleştirilerek ölçülere uygun birleştirme işlemi yapılmıştır (Resim 3.3).



Resim 3. 3 Saç malzemelerin form punta cihazı ile birleştirilmesi

Deneylerde kullanılacak numuneler kesme deneyi için TS EN ISO 14273'e göre birleştirme 0,5 mm kalınlığındaki Erdemir 1312 sac numune üstte olacak şekilde daha sonra alt kısımda olacak biçimlerde ve sayılarda hazırlanmıştır (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4 Kesme deneyi numunelerin birleştirilme grupları ve sayıları

Kesme Deneyi TS EN ISO 14273							
No	Numune	Adet	Ölçü	No	Numune	Adet	Ölçü
1	0,5U+0,5A	1×10	105×45	17	0,5A+0,5U	1×10	105×45
2	0,5U+1A	1×10	105×45	18	0,5A+1U	1×10	105×45
3	0,5U+1,5A	1×10	105×45	19	0,5A+1,5U	1×10	105×45
4	0,5U+2A	1×10	105×45	20	0,5A+2U	1×10	105×45
5	1U+0,5A	1×10	105×45	21	1A+0,5U	1×10	105×45
6	1U+1A	1×10	105×45	22	1A+1U	1×10	105×45
7	1U+1,5A	1×10	105×45	23	1A+1,5U	1×10	105×45
8	1U+2A	1×10	105×45	24	1A+2U	1×10	105×45
9	1,5U+0,5A	1×10	105×45	25	1,5A+0,5U	1×10	105×45
10	1,5U+1A	1×10	105×45	26	1,5A+1U	1×10	105×45
11	1,5U+1,5A	1×10	105×45	27	1,5A+1,5U	1×10	105×45
12	1,5U+2A	1×10	105×45	28	1,5A+2U	1×10	105×45
13	2U+0,5A	1×10	105×45	29	2A+0,5U	1×10	105×45
14	2U+1A	1×10	105×45	30	2A+1U	1×10	105×45
15	2U+1,5A	1×10	105×45	31	2A+1,5U	1×10	105×45
16	2U+2A	1×10	105×45	32	2A+2U	1×10	105×45

Tablodaki gruplamaya göre 0.5 mm, 1 mm, 1.5 mm ve 2 mm kesme deneyi için kullanılacak malzemeler birleştirilmiştir (Resim 3.4).



Resim 3. 4 Kesme deneyi için birleştirilmiş malzemeler

Deneylerde kullanılacak numuneler soyma deneyi için TS EN ISO 14270'e göre birleştirme 0,5 mm kalınlığındaki Erdemir 1312 sac numune üstte olacak şekilde daha sonra alt kısımda olacak biçimlerde ve sayılarda hazırlanmıştır (Resim 3.5).



Resim 3. 5 Soyma deneyi için birleştirilmiş malzemeler

Soyma deneyi için 0.5 mm, 1 mm, 1.5 mm, 2 mm Erdemir 1312 sac numunelerin gruplandırılması ve birleştirilmesi Çizelge 3.5'e göre yapılmıştır.

Çizelge 3.5 Soyma deneyi numunelerin birleştirilme grupları ve sayıları

Soyma Deneyi TS EN ISO 14270							
No	Numune	Adet	Ölçü	No	Numune	Adet	Ölçü
1	0,5U+0,5A	1×10	125×45	17	0,5A+0,5U	1×10	125×45
2	0,5U+1A	1×10	125×45	18	0,5A+1U	1×10	125×45
3	0,5U+1,5A	1×10	125×45	19	0,5A+1,5U	1×10	125×45
4	0,5U+2A	1×10	125×45	20	0,5A+2U	1×10	125×45
5	1U+0,5A	1×10	125×45	21	1A+0,5U	1×10	125×45
6	1U+1A	1×10	125×45	22	1A+1U	1×10	125×45
7	1U+1,5A	1×10	125×45	23	1A+1,5U	1×10	125×45
8	1U+2A	1×10	125×45	24	1A+2U	1×10	125×45
9	1,5U+0,5A	1×10	125×45	25	1,5A+0,5U	1×10	125×45
10	1,5U+1A	1×10	125×45	26	1,5A+1U	1×10	125×45
11	1,5U+1,5A	1×10	125×45	27	1,5A+1,5U	1×10	125×45
12	1,5U+2A	1×10	125×45	28	1,5A+2U	1×10	125×45
13	2U+0,5A	1×10	125×45	29	2A+0,5U	1×10	125×45
14	2U+1A	1×10	125×45	30	2A+1U	1×10	125×45
15	2U+1,5A	1×10	125×45	31	2A+1,5U	1×10	125×45
16	2U+2A	1×10	125×45	32	2A+2U	1×10	125×45

3.3 Deneylerin Yapılması

Çekme deneyleri için Resim 3.6'da gösterilen, AKÜ Teknoloji Fakültesi Makine Müh. laboratuvarında bulunan Instron 8801 Model çekme makinesi kullanılmıştır. 100 kN kapasitesi olan bu servo hidrolik test sistemi, dinamik ve statik testlerin yanı sıra

yardımcı bileşenleri takılarak yüksek ve düşük frekanslı yorulma testleri yapabilmektedir. Deney makinesi bilgisayardan kontrol edilen bir yazılım ile 8800 model kontrolör cihazında veri işlenerek çalışmaktadır.



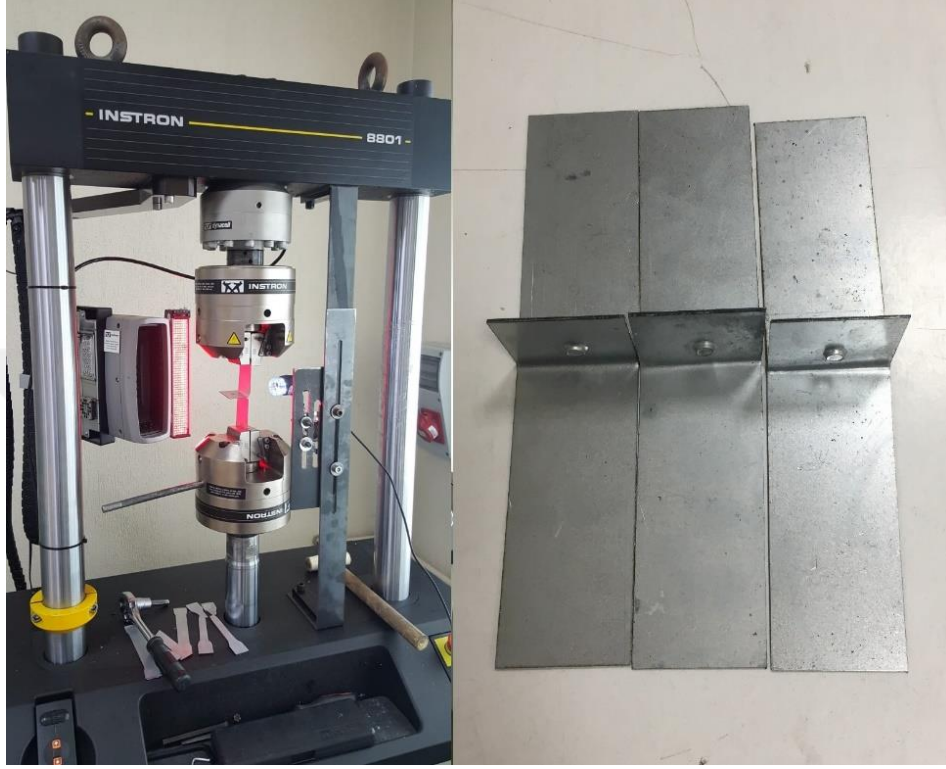
Resim 3. 6 Instron 8801 model test makinesi

İlk önce malzemenin özelliklerini belirlemek için TSE EN ISO 6892-1 standartlarına göre hazırlanmış olduğumuz numune parçalar çekme testine tabi tutulmuştur (Resim 3.7). Her bir malzemeden beşer adet numune teste tabi tutulduktan sonra çıkan sonuçlar incelenmiş ve malzemelerin mekanik özellikleri elde edilmiştir.



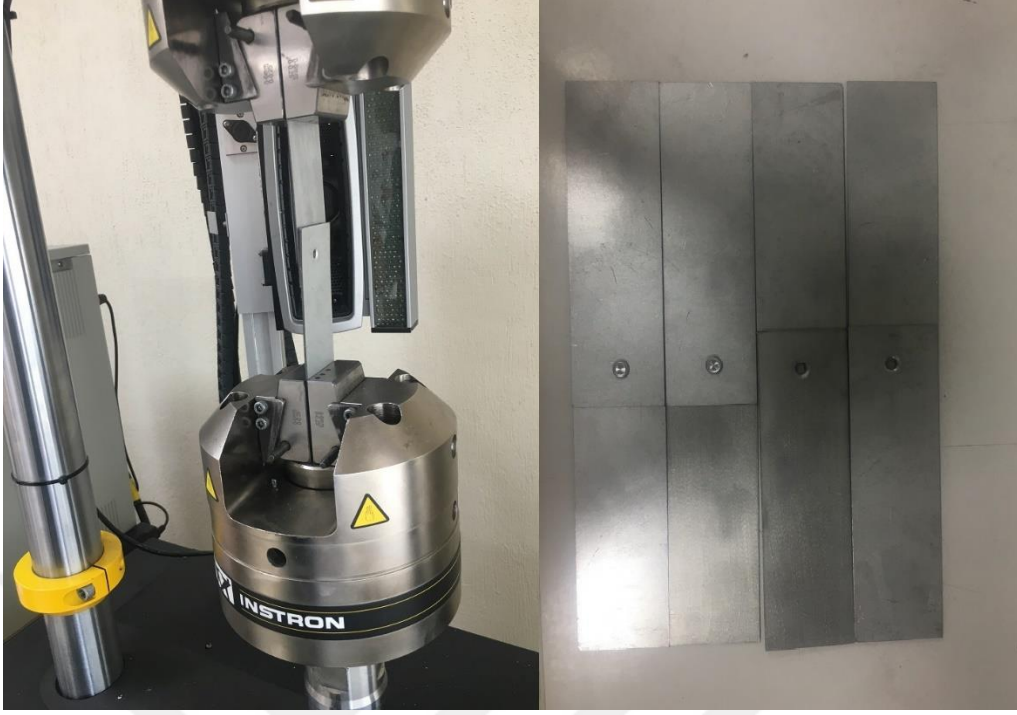
Resim 3. 7 Test için hazırlanmış numune ve test

Daha sonra TSE EN ISO 14270 standartlarına göre form punta yöntemiyle birleştirme işlemi yapılmış malzemeler belirlenmiş ölçülerde 90° bükülerek numuneler gruplarına göre mekanize soyma deneyi yapılmıştır (Resim 3.8).



Resim 3. 8 Soyma testi için hazırlanmış numune ve test

Son olarak TSE EN ISO 14273 standardına göre birleştirilen form punta bağlantıların dayanımını ölçmek için hazırladığımız numuneler kesme deneyine tabi tutulmuştur. Numuneler hazırlanırken kalınlıklarına göre gruplandırılmıştır. Birleştirilmiş malzemeler üzerinde kesme deneyini uygularken malzemeler birbirileri üstüne bindirme yöntemi ile birleştirildiklerinden dolayı çekme sırasındaki moment etkisini azaltmak için makine bağlantı çenelerine aynı kalınlıkta saç malzemeler konularak çekme testi uygulanmıştır (Resim 3.9).



Resim 3. 9 Kesme testi için hazırlanmış numune ve test

3.4 Form Punta ile Birleştirilen Parçaların Kesit Görünüşlerinin İncelenmesi

Form punta ile birleştirilmiş olan parçalar kesme deneyi ve soyma deneyi için hazırlanan malzemeler arasından kesit görüşlerini incelemek için malzemeler seçilmiştir. AKÜ içerisindeki Teknoloji Fakültesi Metalürji ve Malzeme laboratuvarında bulunan Metacut-M 250 kesme makinesi kullanılarak (Resim 3.10) malzemeler birleştirme yüzeyine dik olacak şekilde kesilmiştir.



Resim 3. 10 Metacut-M 250 Kesme Makinesi

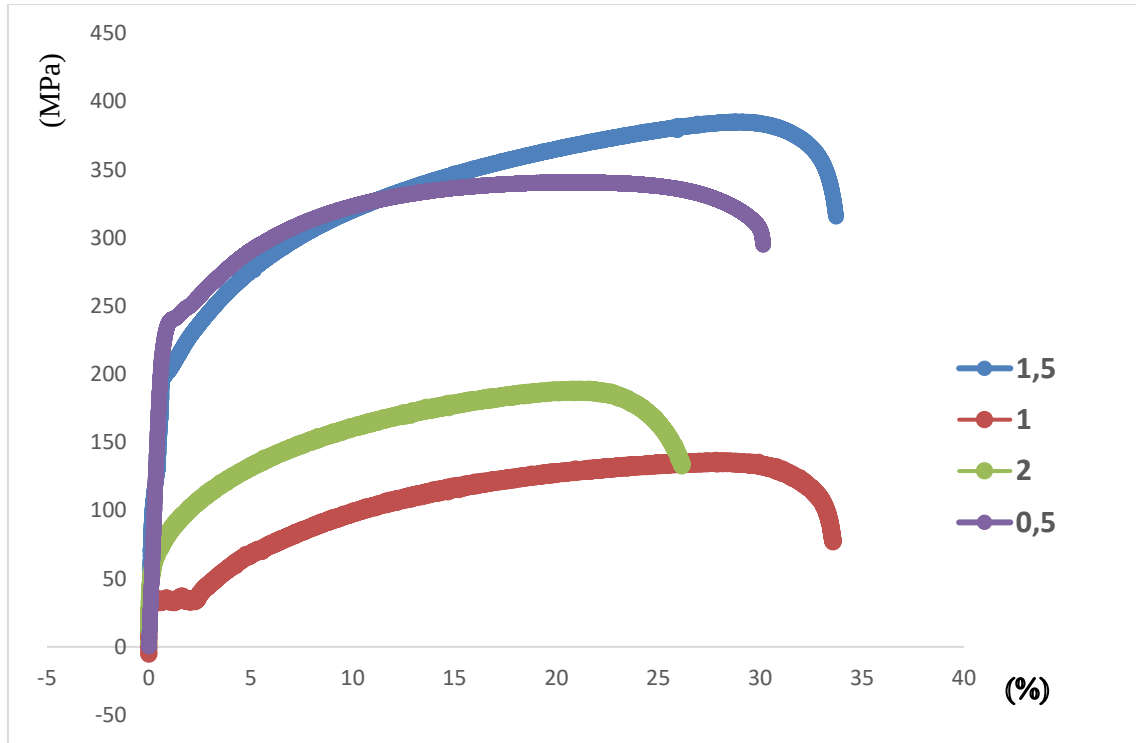
Kesilen malzemelerin kesitlerini Dino-Lite AM-211 maksimum 200x büyütme kabiliyetine sahip USB mikroskop altında fotoğrafları çekilmiştir. Parçaların birleşmesinden oluşan kesit formlar incelendiğinde, birleşme sonucunda oluşan çatlaklar, şekil değiştirmeler, deformasyon ve kopmaların yanı sıra birleşmelerin sağlıklı bir görünümde olup olmadığı görülmektedir.

Form punta birleştirmeler de sağlıklı bir birleşmenin olabilmesi için parçaların birbiri içerisinde oluşturdukları birleştirmeyi sağlayan “S” şeklindeki form oldukça önemlidir. Tabiki sac kalınlıkları ve malzemelerin elastik özelliği de birleştirmenin kalitesini belirleyen etkenlerdir (Varis 2006).

4. BULGULAR

4.1 TS EN ISO 6892-1 standardına göre malzeme çekme deneyi

TS EN ISO 6892-1 standardına göre yapılan çekme deneyinin sonucunda 0,5 mm, 1 mm, 1,5 mm ve 2 mm kalınlığındaki Erdemir 1312 galvaniz sac malzemelere kuvvet uygulandığında meydana gelen çekme dayanımları ve uzama yüzdeleri grafikte görülmektedir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 TS EN ISO 6892-1 standardına göre yapılan deney sonuç grafiği

Çekme deneyi sonucunda Erdemir 0,5 mm, 1 mm, 1,5 mm, 2 mm malzemelerinden çekme dayanımı en yüksek olan Erdemir 0,5 mm malzemesidir (Resim 4.1). Çekme deneyi sonucunda malzemelerin mekanik özellikleri Çizelge 4.1' de gösterilmiştir.



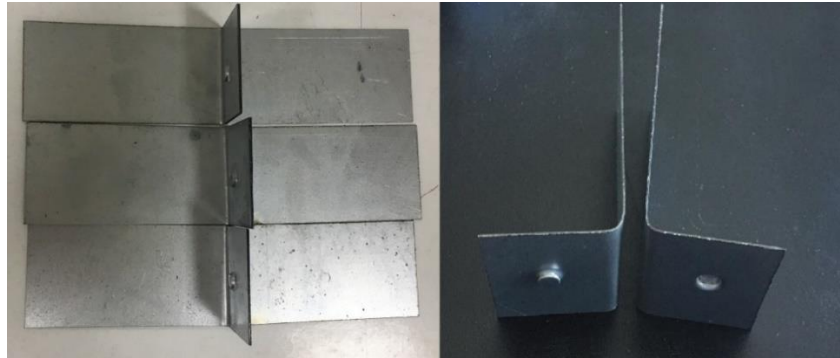
Resim 4. 1 Çekme deneyi sonucunda kopan malzemeler

Çizelge 4.1 Malzemelerin bazı mekanik özellikleri

Erdemir 1312 (DIN EN 10326)				
Kalınlık(mm)	0,5	1	1,5	2
Elastite Modülü (E)(Gpa)	210	210	210	210
Poison oranı (v)	0.3	0.3	0.3	0.3
Akma Gerilimi (σ_m)(Mpa)	254	189	242	124
Max. Gerilme (σ_m)(Mpa)	348,7	250,52	304,48	156,13

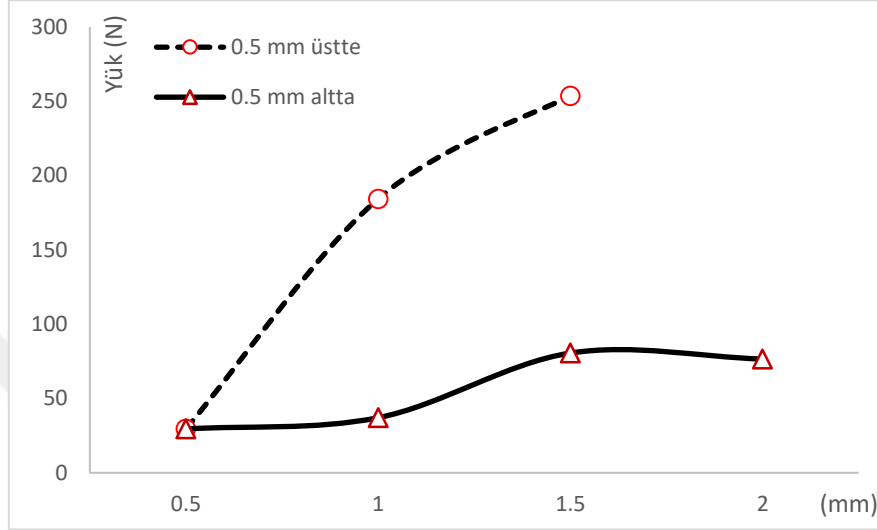
4.2 TS EN ISO 14270 standardına göre malzeme soyma deneyi

Deneyde kullanılan Erdemir 1312 kalite 0,5 mm, 1 mm, 1,5 mm, 2 mm sac malzeme sırayla gruplandırılarak birleştirilmiştir. Numuneler form punta yöntemiyle birleştirildikten sonra 90° bükülme işlemi yapılmış ve malzeme soyma testine tabi tutulmuştur (Resim 4.2).

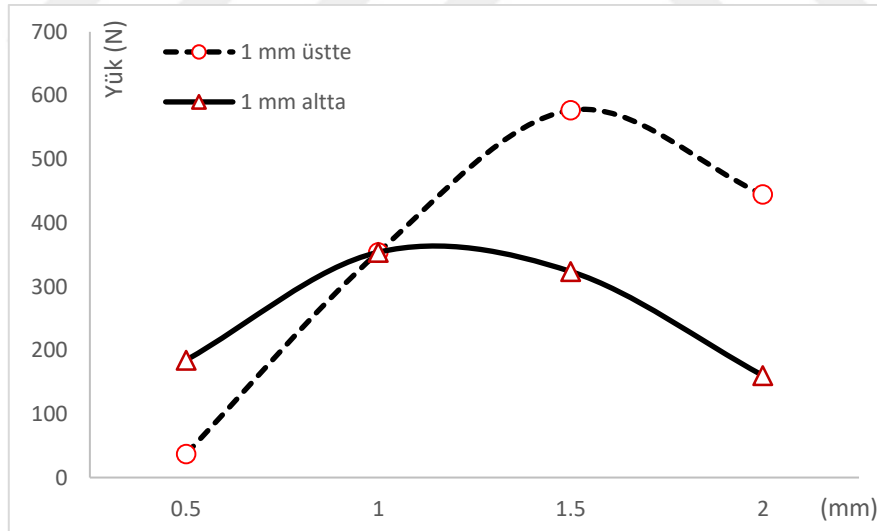


Resim 4. 2 Soyma deneyi malzemeleri

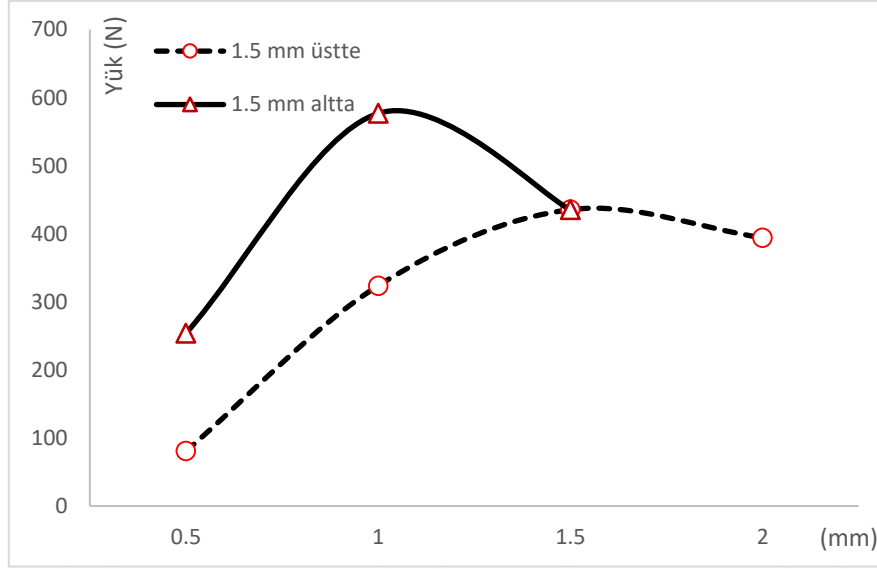
Soyma deney sonuçları malzeme kalınlıklarına göre incelendiğinde sac malzeme üst ve alt olarak gruplandırılmış form punta birleştirmelerin grafikler üzerinden sırasıyla 0,5 mm alt-üst yük dayanım (Şekil 4.2), 1 mm alt-üst yük dayanım grafiği (Şekil 4.3), 1,5 mm alt-üst yük dayanım grafiği (Şekil 4.4), 2 mm alt-üst yük dayanım grafiği (Şekil 4.5) karşılaştırılmıştır.



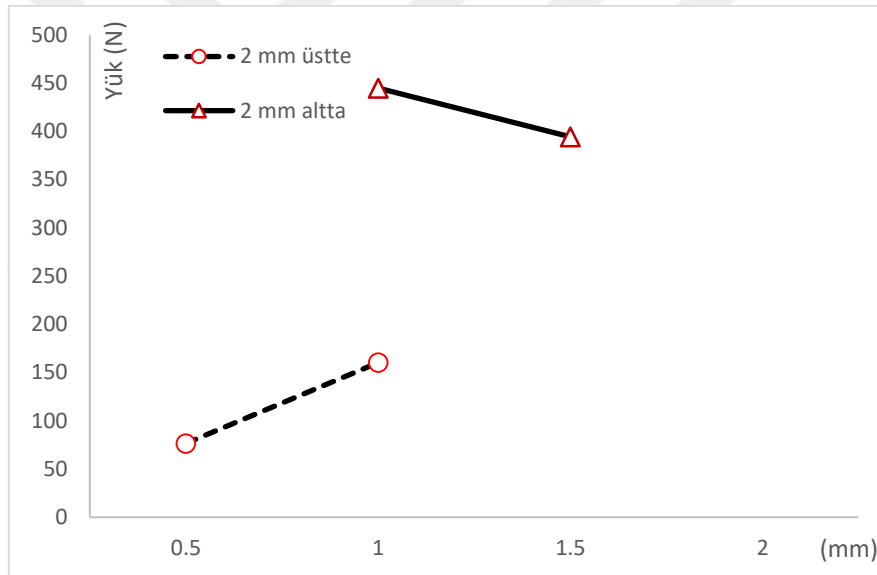
Şekil 4.2 Erdemir 0,5 mm alt-üst yük dayanım grafiği



Şekil 4.3 Erdemir 1 mm alt-üst yük dayanım grafiği



Şekil 4.4 Erdemir 1,5 mm alt-üst yük dayanım grafiği



Şekil 4.5 Erdemir 2 mm alt-üst yük dayanım grafiği

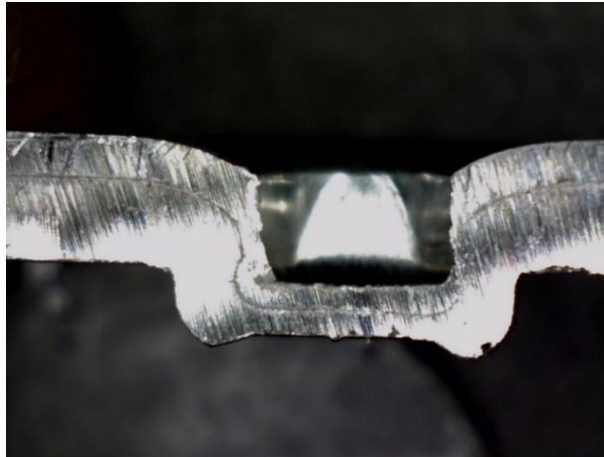
En zayıf dayanımın Erdemir 1312 0,5 mm üstte-0,5 mm altta olduğunu gruplandırma tespit edilmiştir. Sac kalınlığının az olan birleştirmelerde kenetlenmenin sağlandığı boyun bölgelerinde boşluklu deformasyonlara neden olmaktadır (Resim 4.3). Bu deformasyonlar form punta birleştirmeler de istenilen “S” şeklinde kenetlenmenin gerçekleşmemesine sebep olmaktadır. Form punta birleştirme sırasında altta bulunan malzemenin plastik deformasyon mesafesi üstteki malzemeye göre fazla olduğundan presleme anında aşırı deformasyon nedeniyle malzemede dislokasyon yoğunluğu artar

bu sebeple malzemede sertleşme meydana gelmektedir. Presleme sırasında form punta birleştirmenin oluşması için gerekli “S” formu oluşturmada sertleşen malzeme birleştirmelerde dayanımın düşmesine neden olmaktadır. Presleme anında plastik şekil değiştirmeye maruz kalan malzemelerde meydana gelen bu durum elastik özelliği az olan malzemelerde daha etkin görülmekte ve kalın malzemelerde uygun formun oluşumuna, ince malzemelerde ise deformasyon sertleşmesi kaynaklanan yırtılma ve kopmalara neden olmaktadır.



Resim 4. 3 Erdemir 1312 0.5 mm-0.5 mm birleştirilmiş malzeme kesiti

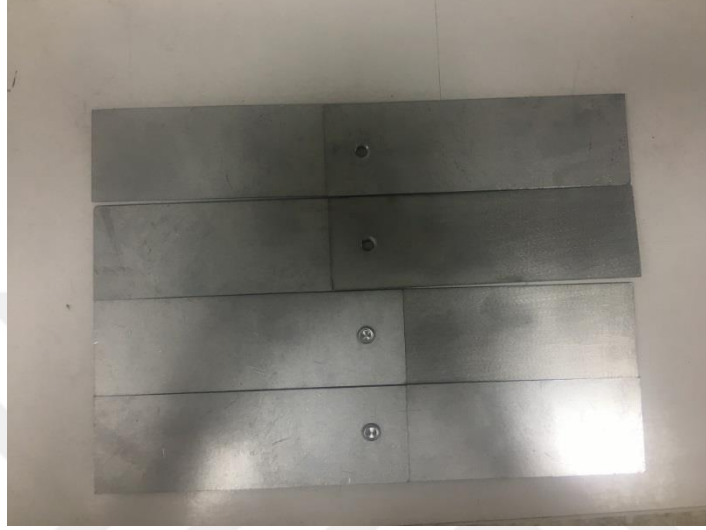
Soyma deneyinin en iyi dayanım değerleri Erdemir 1 mm üstte-1,5 mm altta olduğunu gruplarda tespit edilmiştir. Erdemir 1312 1 mm malzemenin üste olduğu form punta birleştirmelerin, daha verimli ve dayanıklı olduğu gözlemlenmektedir (Resim 4.4).



Resim 4. 4 Erdemir 1312 1 mm-1.5 mm birleştirilmiş malzeme kesit

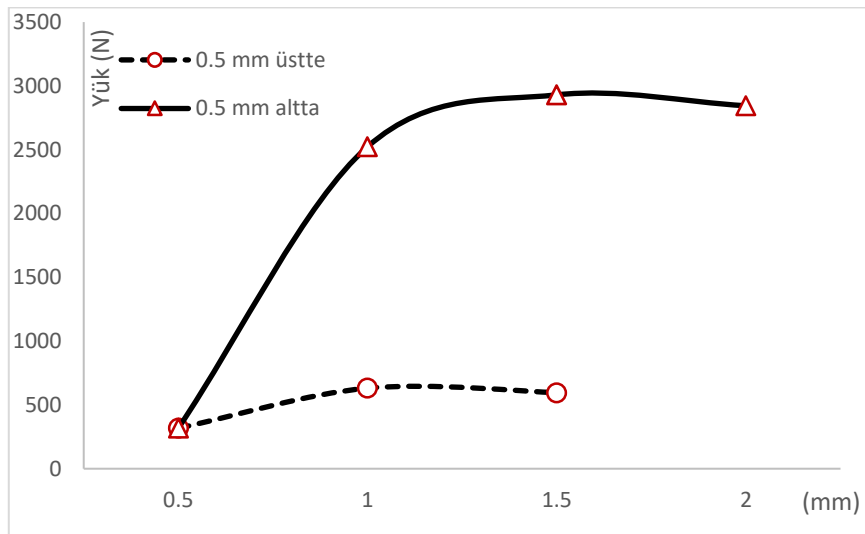
4.3 TS EN ISO 14273 standardına göre malzeme kesme deneyi

Deneyde kullanılan Erdemir 1312 kalite 0,5 mm, 1 mm, 1,5 mm, 2 mm sac malzeme sırayla gruplandırılarak birleştirilmiştir. Numuneler form punta yöntemiyle birleştirildikten sonra malzeme kesme testine tabi tutulmuştur (Resim 4.5).

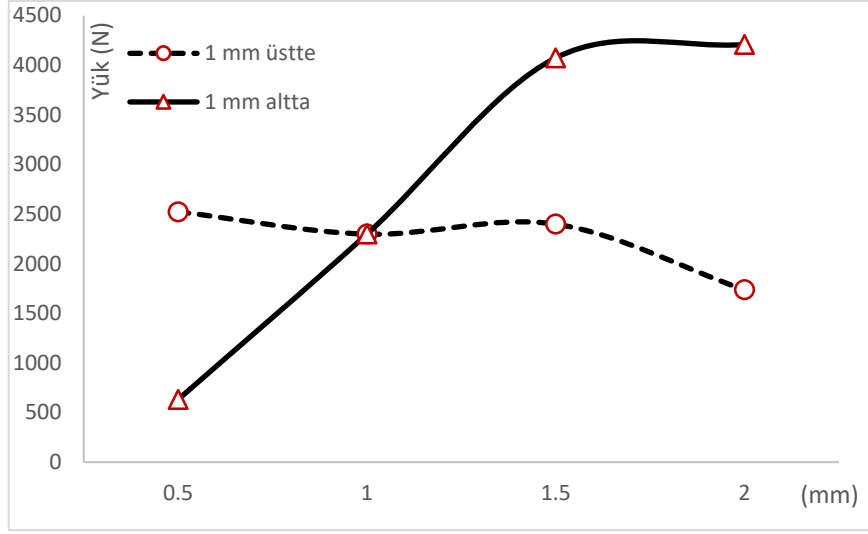


Resim 4. 5 Kesme deneyi malzemeleri

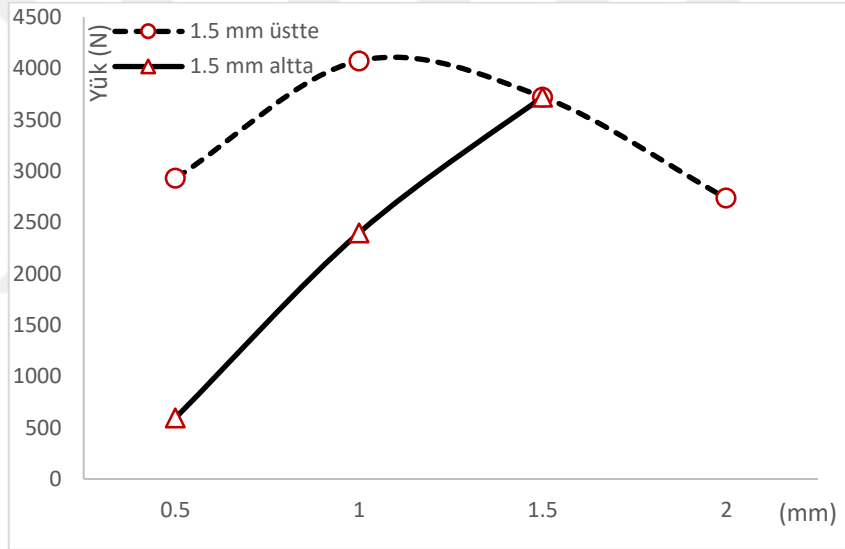
Kesme deney sonuçları malzeme kalınlıklarına göre incelendiğinde sac malzeme üst ve alt olarak gruplandırılmış form punta birleştirmelerin grafikler üzerinden sırasıyla 0,5 mm alt-üst yük dayanım (Şekil 4.6), 1 mm alt-üst yük dayanım grafiği (Şekil 4.7), 1,5 mm alt-üst yük dayanım grafiği (Şekil 4.8), 2 mm alt-üst yük dayanım grafiği (Şekil 4.9) karşılaştırılmıştır.



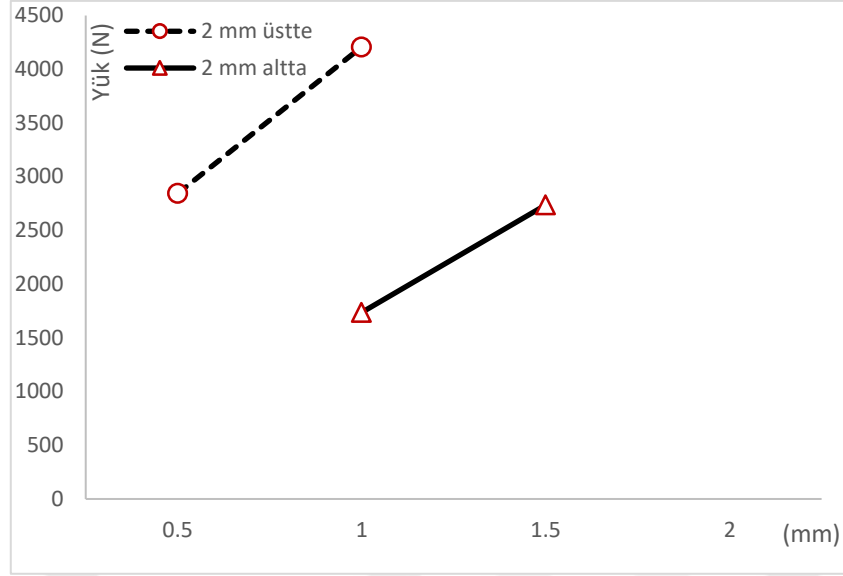
Şekil 4.6 Erdemir 0,5 mm alt-üst yük dayanım grafiği



Şekil 4.7 Erdemir 1 mm alt-üst yük dayanım grafiği

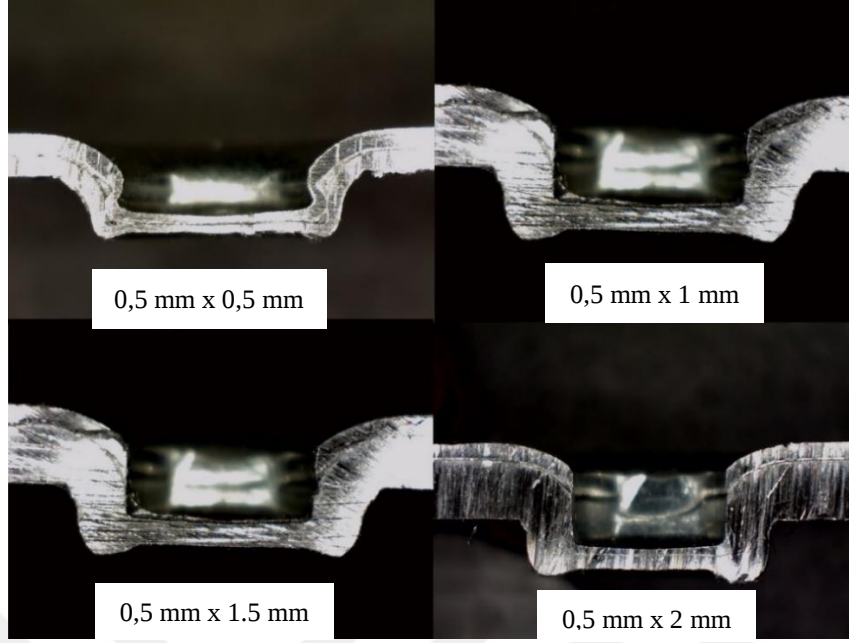


Şekil 4.8 Erdemir 1,5 mm alt-üst yük dayanım grafiği



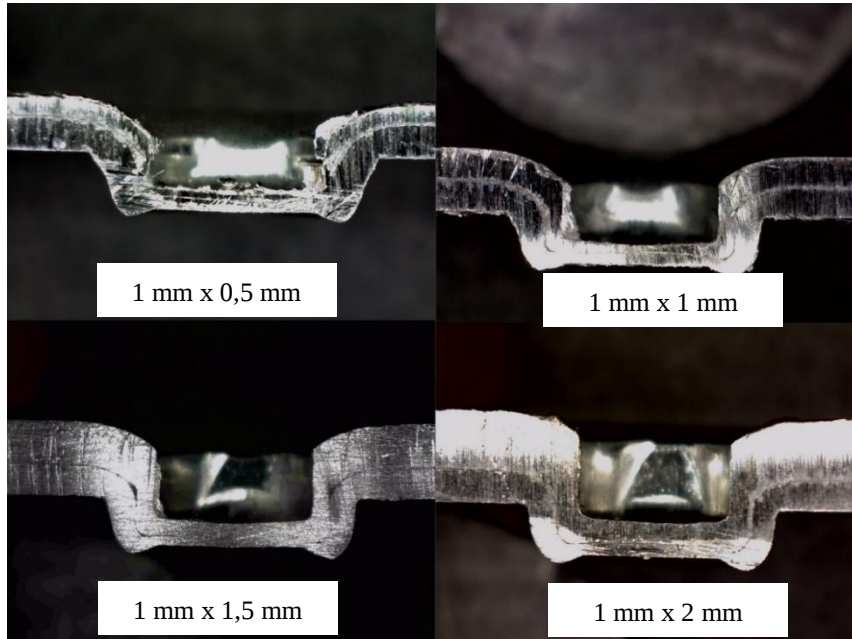
Şekil 4.9 Erdemir 2 mm alt-üst yük dayanım grafiği

Kesme testinin sonucunda en zayıf dayanımın Erdemir 1312 0,5 mm'nin üstte olduğunu gruplandırma tespit edilmiştir. Bunun nedeni ise birleştirme sırasında malzemede aşırı plastik deformasyon nedeni ile oluşan yırtılmanın, birleştirme yapısını zayıflatmasıdır (Resim 4.6). Bu kesitler incelendiğinde birleştirme yapılarının oldukça zayıf olduğu görülmektedir. Birbirinden farklı kalınlıklardaki malzemelerin birleştirilmesinde ince malzeme üstte kullanılırsa malzeme formunda yırtılmalar oluşmaktadır. Kalın malzemeler üstte kullanıldığında uygun birleştirme formunu oluşturamamakta ve bu durum dayanıklılığı etkilemektedir.



Resim 4. 6 Erdemir 1312 0,5 mm üstte birleştirilmiş malzemeler kesiti

Kesme deneyinin en iyi dayanım değerleri Erdemir 1 mm altta olduğunu gruplarda tespit edilmiştir. Erdemir 1312 1 mm malzemenin altta olduğu form punta birleştirmelerin, daha verimli ve dayanıklı olduğu gözlemlenmektedir (Resim 4.7). Bunun nedeni punta form birleştirmede “S” kenetlenme yapının sağlam olmasıdır.



Resim 4. 7 Erdemir 1312 1 mm altta birleştirilmiş malzemeler kesiti

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada birçok sac birleştirme teknolojisine alternatif olarak gösterilen ve giderek yaygınlaşmaya başlayan form punta birleştirme teknolojisi tanıtılmıştır. Otomotiv endüstrisinde en çok kullanılan galvanizli çelik (Erdemir1312) 0,5 mm, 1 mm, 1,5 mm, 2 mm sac kalınlığındaki malzemeler form punta sistemiyle birleştirilmiş, yapılan deneyler sonucunda malzemelere uygulanan perçinsiz bağlantıların mekanik özellikleri araştırılmıştır. Deney standartlarına göre hazırlanmış malzemeler kalınlıkları ve özellikleri göz önünde bulundurularak birbirleriyle birleştirilecek şekilde gruplandırılmıştır. Bu malzemeler daha sonra deney yapılmak üzere form punta yöntemiyle birleştirilmiştir. Birbirinden farklı veya aynı kalınlıktaki malzemelerin birleştirilmesinden ortaya çıkan sonuçların yanı sıra malzemelerin birleştirilme sırasında üstte veya altta olmasının sonuçları nasıl etkileyebileceği gibi malzemelerin birleştirilmesini olumlu ya da olumsuz etkileyebilecek malzeme faktörleri araştırılmıştır.

Çizelge 5.1 TS EN ISO 14273 deney sonuçları

	Sac Kalınlık(mm)	Yük (N)		Sac Kalınlık(mm)	Yük (N)
1	0,5Ux0,5A	317,95	17	0,5Ux0,5A	317,95
2	0,5Ux1A	631,1	18	1Ux0,5A	2522,75
3	0,5Ux1,5A	595,91	19	1,5Ux0,5A	2929,62
4	0,5U+2A	-	20	2Ux0,5A	2844,25
5	1Ux0,5A	2522,75	21	0,5Ux1A	631,1
6	1Ux1A	2297,17	22	1Ux1A	2297,17
7	1Ux1,5A	2397,87	23	1,5Ux1A	4073,25
8	1Ux2A	1736,25	24	2Ux1A	4207,98
9	1,5Ux0,5A	2929,62	25	0,5Ux1,5A	595,91
10	1,5Ux1A	4073,25	26	1Ux1,5A	2397,87
11	1,5Ux1,5A	3721,33	27	1,5Ux1,5A	3721,33
12	1,5Ux2A	2736,12	28	2Ux1,5A	-
13	2Ux0,5A	2844,25	29	0,5Ux2A	-
14	2Ux1A	4207,98	30	1Ux2A	1736,25
15	2Ux1,5A	-	31	1,5Ux2A	2736,12
16	2Ux2A	-	32	2Ux2A	-

-; Hatalı olan deneyler sonuçlara dahil edilmemiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Yapılan deneylerin sonucu Çizelge 5.1’de görülmektedir. Çizelgeyi inceleyecek olursak galvanizli sac malzemelerin üstte iç formu oluşturduğu duruma ait sonuçlar tablonun sol

tarafında verilmiştir. Burada en dayanıklı birleştirme 2 mm kalınlığında galvanizli sac malzemenin iç formu oluşturduğu, 1 mm kalınlığındaki sac malzemenin dış formu oluşturduğu birleştirmedir. Tablonun sağ tarafında en dayanımlı birleştirme 1 mm kalınlığında sac malzemenin iç formu oluşturduğu, 2 mm kalınlığındaki galvanizli sac malzemenin dış formu oluşturduğu birleştirme olduğu görülmektedir. Aynı zamanda bu birleştirme bu deneyde bize en iyi sonucu vermektedir. Çizelgede değeri belirtilmemiş malzemeler birleştirilme sırasında koptuğu için bu malzemeler deneyde değerlendirilememiştir.

Diğer deneyimiz için birleştirilmiş malzemelerden oluşturulan numuneler TSE EN ISO 14270 standartlarına uygun olarak hazırlanmış ve mekanize soyma deneyinde kullanılmıştır.

Çizelge 5.2 TS EN ISO 14270 deney sonuçları

	Sac Kalınlık(mm)	Yük (N)		Sac Kalınlık(mm)	Yük (N)
1	0,5U+0,5A	29,5	17	0,5U+0,5A	29,5
2	0,5U+1A	184,33	18	1U+0,5A	37,04
3	0,5U+1,5A	253,62	19	1,5U+0,5A	80,57
4	0,5U+2A	-	20	2U+0,5A	76,53
5	1U+0,5A	37,04	21	0,5U+1A	184,33
6	1U+1A	353,8	22	1U+1A	353,8
7	1U+1,5A	576,81	23	1,5U+1A	323,66
8	1U+2A	444,71	24	2U+1A	160,2
9	1,5U+0,5A	80,57	25	0,5U+1,5A	253,62
10	1,5U+1A	323,66	26	1U+1,5A	576,81
11	1,5U+1,5A	435,43	27	1,5U+1,5A	435,43
12	1,5U+2A	394,21	28	2U+1,5A	-
13	2U+0,5A	76,53	29	0,5U+2A	-
14	2U+1A	160,2	30	1U+2A	444,71
15	2U+1,5A	-	31	1,5U+2A	394,21
16	2U+2A	-	32	2U+2A	-

-, Hatalı olan deneyler sonuçlara dahil edilmemiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Yapılan deneye ait sonuç Çizelge 5.2’de görülmektedir. Çizelgeyi inceleyecek olursak galvanizli sac malzemenin üstte dış formu oluşturduğu duruma ait sonuçlar tablonun sol kısmında verilmiştir. Burada en dayanımlı birleştirme 1 mm kalınlığında galvanizli sac malzemenin iç formu oluşturduğu, 1,5 mm kalınlığındaki galvanizli sac malzemenin dış

formu oluşturduğu birleştirmedir. Tablonun sağ tarafında en dayanımlı birleştirme 1,5 mm kalınlığında galvanizli sac malzemenin iç formu oluşturduğu, 1 mm kalınlığındaki galvanizli sac malzemenin dış formu oluşturduğu birleştirme olduğu görülmektedir. Aynı zamanda bu birleştirme bu deneyde bize en iyi sonucu vermektedir. Çizelgede değeri belirtilmemiş malzemeler birleştirilme sırasında koptuğu için bu malzemeler deneye dâhil edilmemiştir.

Daha sonra kesit görüntülerin alınabilmesi için malzemeler form punta yöntemi ile birleştirilerek numuneler oluşturulmuş, bu oluşturulan numuneler laboratuvarında kesilerek yüzeyleri mikroskopla büyütülerek fotoğrafları çekilmiştir.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde birleştirilen malzemelerin kalınlığı ile dayanım her zaman doğru orantıda olmamaktadır. Bunun nedeni kullanılan birleştirme kalıplarının ve kalıplar arasında bulunan kalıplama boşluğunun, malzeme kalınlıklarına uygun olmamasıdır. Bu durum kalın ve aynı ölçülerdeki malzemelerde üst formu oluşturan malzemenin sıkışmanın etkisiyle sertleşip kalıbı doldurmasına neden olup altta bulunan malzemenin birleştirmeyi sağlayacak boyun bölgesini oluşturmasını engellemekte ya da boyunun incilmesi hatta yırtılması gibi durumlar ortaya çıkarmaktadır (Resim 5.1).



Resim 5. 1 Form punta ile birleştirilmiş malzeme kesiti

Araştırmanın sonucunda birbirine yakın kalınlıklardaki malzemelerin birleştirilmeleri daha iyi sonuçlar verdiği ve elastic deformasyonu iyi olan malzemenin üstte olduğu durumlarda form punta ile birleştirilmiş parçalarda dayanımın arttığı gözlemlenmiştir. Birleştirilmelerde dayanım malzemenin cinsine, soğuk şekillendirilme kabiliyetine, sertliğine ve yumuşak olması durumlarına göre değişebilmektedir. Kesitleri incelediğimizde bir birleştirmenin kenetlenme formu “S” şekline yakın olduğunda ve buna rağmen boyunda incelmenin olmadığı durumda oldukça iyi bir sonuç vereceği

açıkça görülmektedir.

Endüstriyel ortamda seri bir şekilde üretim yapabilme kabiliyeti, basit kullanımı, parçaları birleştirirken dışarıdan bir malzemeye ihtiyacının olmaması, birleştirme ortamında ısı duman ve gaz olmaması, enerji verimliliği, sessiz çalışma gibi özelliklerini göz önüne alırsak form punta sistemi gelişime açık, çevre dostu bir teknolojiyi bize sunmaktadır.

5.1 Sonuçlar

Yapılan bu çalışmada deneylerin sağlıklı sonuçların alınabilmesi ve birleştirilmiş numunelerde birleştirme sırasında karşılaşılan hataların en az seviyede deney sonuçlarına yansması adına denklem (5.1) ve (5.2) formül oluşturularak kalibrasyon oranı hesaplanmıştır. Bu oran ile TS EN ISO 14723 kesme deneyi sonuçlarına ve TS EN ISO 14720 mekanize soyma deneyi sonuçlarına uygulanarak grafikler üzerinden karşılaştırılmıştır.

$$\text{Kalibrasyon Oranı} = \frac{(\text{birinci kalınlık} * \text{max.çekme} + \text{ikinci kalınlık} * \text{max.çekme}) * K_{\text{Kopma}} \text{ yükü}}{(0,5 \text{ mm} * \text{max.çekme} + 0,5 \text{ mm} * \text{max.çekme}) * K_{\text{Kopma}} \text{ yükü}} \quad (5.1)$$

$$\gamma_{0,5+0,5}^{1,0+0,5} = \frac{(t_{1,0} * \sigma_{\text{max}}^{1,0} + t_{0,5} * \sigma_{\text{max}}^{0,5}) * F_{K_{\text{Kopma}}}}{(t_{0,5} * \sigma_{\text{max}}^{0,5} + t_{0,5} * \sigma_{\text{max}}^{0,5}) * F_{K_{\text{Kopma}}}} \quad (5.2)$$

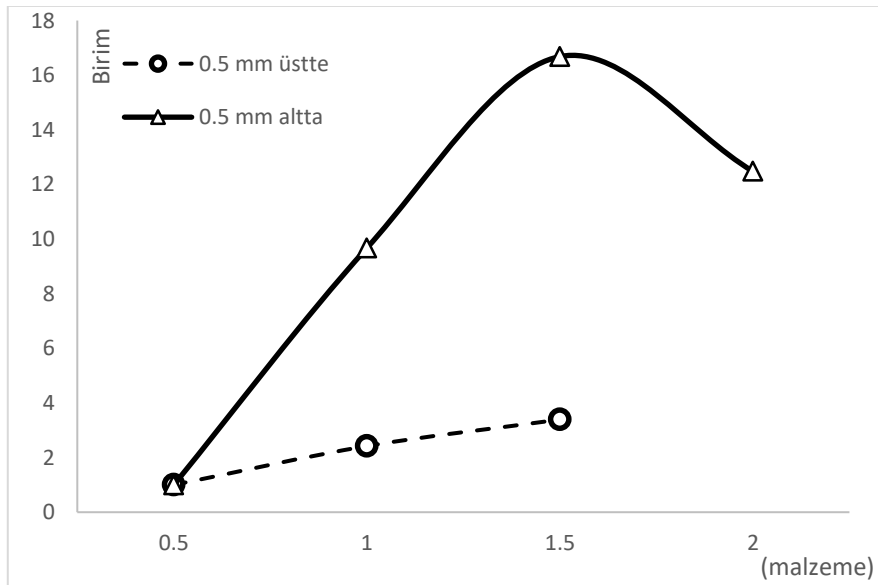
TS EN ISO 14723 kesme deneyi sonuçları kalibrasyon formülü sonucu çizelge 5.3 verilmiştir. Kalibrasyon formül sonucu 0,5 mm kalınlığındaki sac numuneye göre sabit hesaplanarak diğer kalınlıklar arasındaki mukavemetlerini kıyaslama sonucu galvanizli sac malzemenin üstte dış formu oluşturduğu duruma ait sonuçlar tablonun sol kısmında verilmiştir. Burada 0,5mm üstte, 0,5 mm altta birleştirilmiş parçalara göre, en mukavemetli birleştirme 0,5 mm kalınlığında galvanizli sac malzemenin iç formu oluşturduğu, 1,5 mm kalınlığındaki galvanizli sac malzemenin dış formu oluşturduğu birleştirmedir. Tablonun sağ tarafında en mukavemetli birleştirme 0,5mm üstte, 0,5 mm altta birleştirilmiş parçalara göre 1,5 mm kalınlığında galvanizli sac malzemenin iç formu oluşturduğu, 0,5 mm kalınlığındaki galvanizli sac malzemenin dış formu oluşturduğu birleştirme olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.3 TS EN ISO 14273 kalibrasyonlu deney sonuçları

	Sac Kalınlık(mm)	Birim		Sac Kalınlık(mm)	Birim
1	0,5Ux0,5A	1	17	0,5Ux0,5A	1
2	0,5Ux1A	2,42	18	1Ux0,5A	9,67
3	0,5Ux1,5A	3,39	19	1,5Ux0,5A	16,68
4	0,5U+2A	-	20	2Ux0,5A	12,48
5	1Ux0,5A	1	21	0,5Ux1A	1
6	1Ux1A	1,11	22	1Ux1A	4,4
7	1Ux1,5A	1,72	23	1,5Ux1A	11,68
8	1Ux2A	0,96	24	2Ux1A	9,3
9	1,5Ux0,5A	1	25	0,5Ux1,5A	1
10	1,5Ux1A	1,69	26	1Ux1,5A	4,9
11	1,5Ux1,5A	2,3	27	1,5Ux1,5A	11,3
12	1,5Ux2A	1,3	28	2Ux1,5A	-
13	2Ux0,5A	1	29	0,5Ux2A	-
14	2Ux1A	1,8	30	1Ux2A	1
15	2Ux1,5A	-	31	1,5Ux2A	2,85
16	2Ux2A	-	32	2Ux2A	-

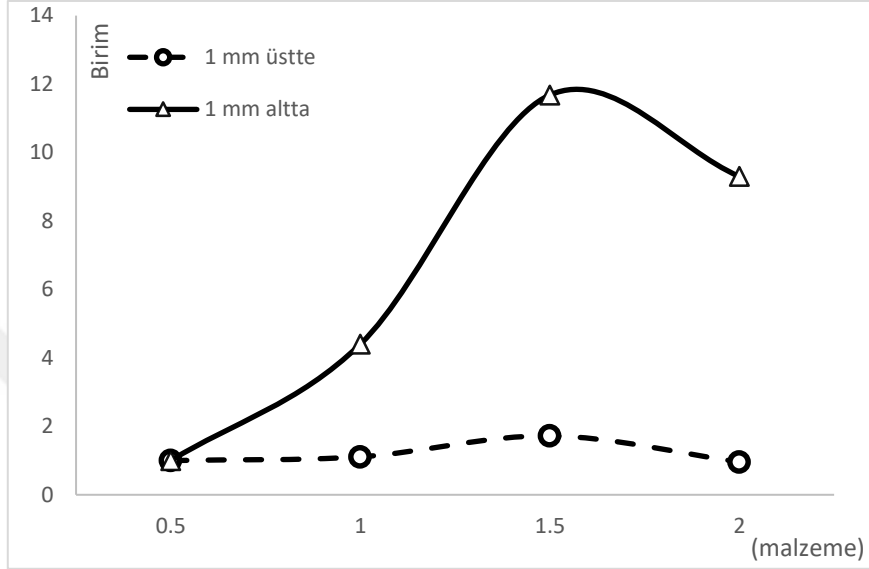
-.; Hatalı olan deneyler sonuçlara dahil edilmemiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Kesme deneyi için kalibrasyon oranlı grafik sonuçları şekil 5.1, şekil 5.2, şekil 5.3, şekil 5.4' de gösterilmiştir. Şekil 5.1 grafiğine göre 1,5 mm sacın üstte 0,5 mm sacın altta olan form punta birleştirme 0,5 mm üstte 0,5 mm altta form punta birleştirmeye göre 16,68 kat daha mukavemetli bir birleştirme sağlanmıştır.



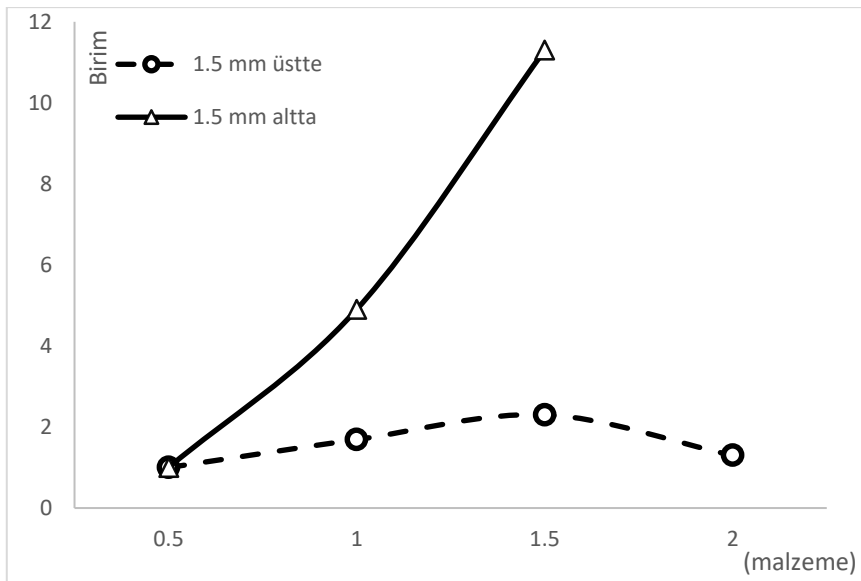
Şekil 5.1 Erdemir 0,5 mm alt-üst kalibrasyon oran grafiği

Şekil 5.2 grafiğine göre 1,5 mm sacın üstte 1 mm sacın altta olan form punta birleştirme 0,5 mm üstte 0,5 mm altta form punta birleştirmeye göre 11,68 kat daha mukavemetli bir birleştirme sağlanmıştır.



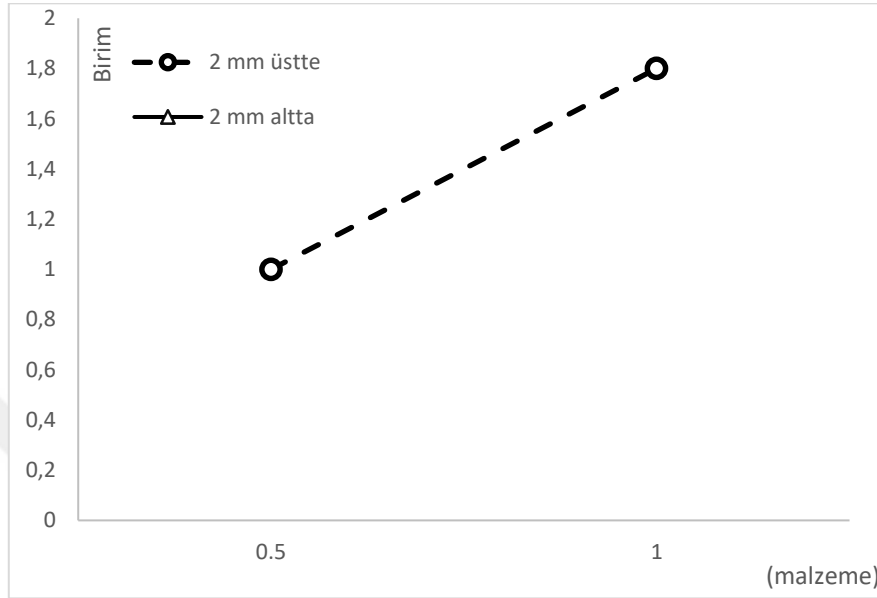
Şekil 5.2 Erdemir 1 mm alt-üst kalibrasyon oran grafiği

Şekil 5.3 grafiğine göre 1,5 mm sacın üstte 1,5 mm sacın altta olan form punta birleştirme 0,5 mm üstte 0,5 mm altta form punta birleştirmeye göre 11,3 kat daha mukavemetli bir birleştirme sağlanmıştır.



Şekil 5.3 Erdemir 1,5 mm alt-üst kalibrasyon oran grafiği

Şekil 5.4 grafiğine göre 1,5 mm sacın üstte 2 mm sacın altta olan form punta birleştirme 0,5 mm üstte 0,5 mm altta form punta birleştirmeye göre 2,85 kat daha mukavemetli bir birleştirme sağlanmıştır.



Şekil 5.4 Erdemir 2 mm alt-üst kalibrasyon oran grafiği

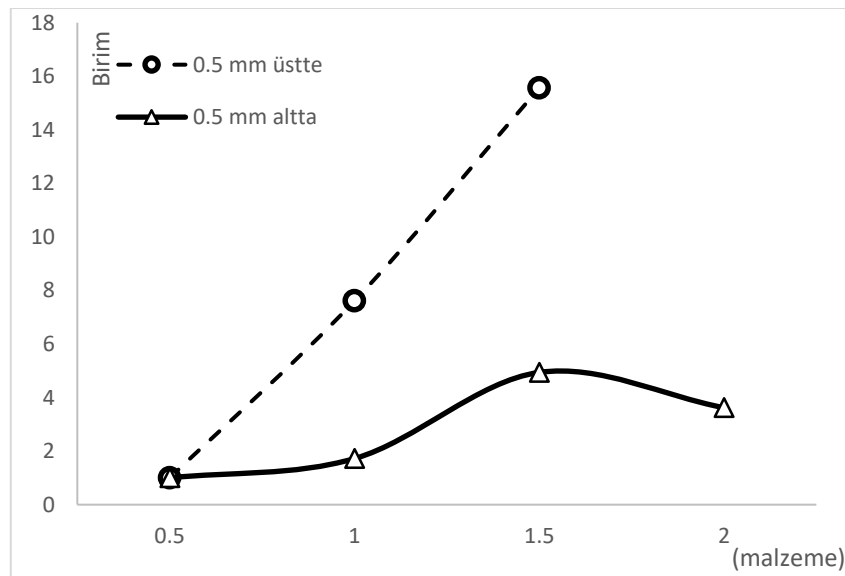
TS EN ISO 14720 mekazine soyma deneyi sonuçları kalibrasyon formülü sonucu çizelge 5.4 verilmiştir. Kalibrasyon formül sonucu 0,5 mm kalınlığındaki sac numuneye göre sabit hesaplanarak diğer kalınlıklar arasındaki mukavemetlerini kıyaslama sonucu galvanizli sac malzemenin üstte dış formu oluşturduğu duruma ait sonuçlar tablonun sol kısmında verilmiştir. Burada 0,5 mm üstte, 0,5 mm altta birleştirilmiş parçalara göre, en mukavemetli birleştirme 1 mm kalınlığında galvanizli sac malzemenin iç formu oluşturduğu, 1,5 mm kalınlığındaki galvanizli sac malzemenin dış formu oluşturduğu birleştirmedir. Tablonun sağ tarafında en mukavemetli birleştirme 0,5mm üstte, 0,5 mm altta birleştirilmiş parçalara göre 1,5 mm kalınlığında galvanizli sac malzemenin iç formu oluşturduğu, 0,5 mm kalınlığındaki galvanizli sac malzemenin dış formu oluşturduğu birleştirme olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.4 TS EN ISO 14270 kalibrasyonlu deney sonuçları

	Sac Kalınlık(mm)	Birim		Sac Kalınlık(mm)	Birim
1	0,5U+0,5A	1	17	0,5U+0,5A	1
2	0,5U+1A	7,61	18	1U+0,5A	1,72
3	0,5U+1,5A	15,56	19	1,5U+0,5A	4,94
4	0,5U+2A	-	20	2U+0,5A	3,62
5	1U+0,5A	1	21	0,5U+1A	1
6	1U+1A	11,64	22	1U+1A	2,34
7	1U+1,5A	28,28	23	1,5U+1A	3,47
8	1U+2A	16,75	24	2U+1A	1,21
9	1,5U+0,5A	1	25	0,5U+1,5A	1
10	1,5U+1A	4,89	26	1U+1,5A	2,77
11	1,5U+1,5A	9,78	27	1,5U+1,5A	3,11
12	1,5U+2A	6,83	28	2U+1,5A	-
13	2U+0,5A	1	29	0,5U+2A	-
14	2U+1A	2,55	30	1U+2A	1
15	2U+1,5A	-	31	1,5U+2A	1,22
16	2U+2A	-	32	2U+2A	-

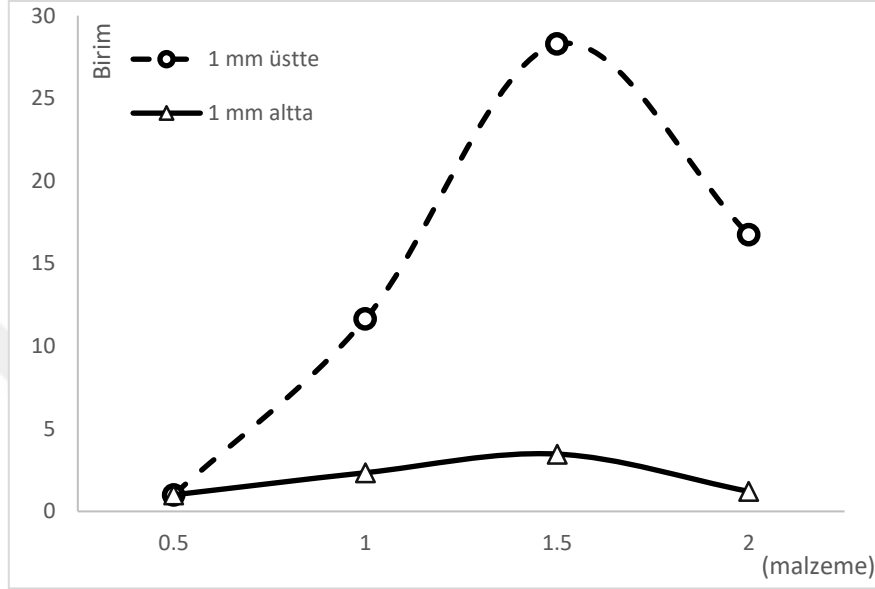
-; Hatalı olan deneyler sonuçlara dahil edilmemiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Şekil 5.5 grafiğine göre 0,5 mm sacın üstte 1,5 mm sacın altta olan form punta birleştirme 0,5 mm üstte 0,5 mm altta form punta birleştirmeye göre 15,56 kat daha mukavemetli bir birleştirme sağlanmıştır.



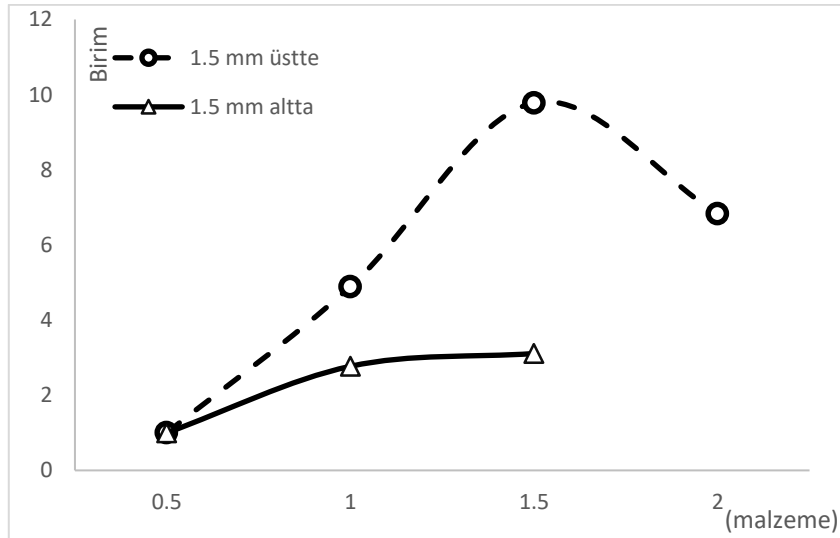
Şekil 5.5 Erdemir 0,5 mm alt-üst kalibrasyon oran grafiği

Şekil 5.6 grafiğine göre 1 mm sacın üstte 1,5 mm sacın altta olan form punta birleştirme 0,5 mm üstte 0,5 mm altta form punta birleştirmeye göre 28,28 kat daha mukavemetli bir birleştirme sağlanmıştır.



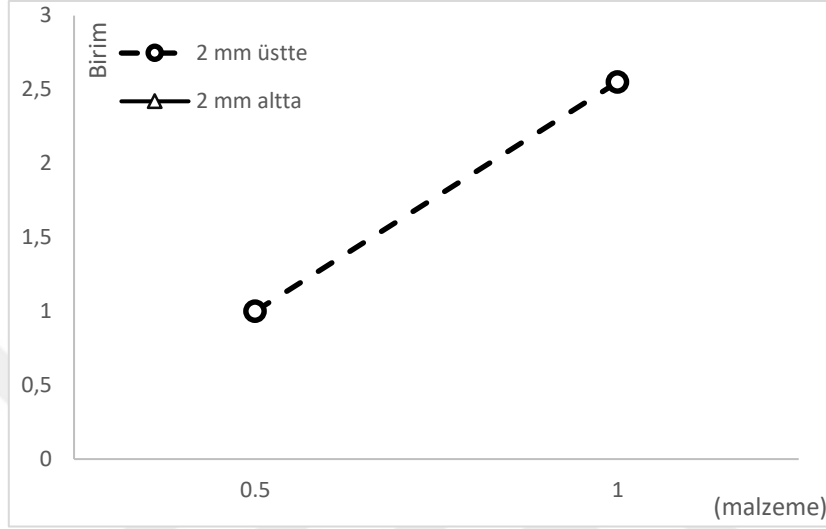
Şekil 5.6 Erdemir 1 mm alt-üst kalibrasyon oran grafiği

Şekil 5.7 grafiğine göre 1,5 mm sacın üstte 1,5 mm sacın altta olan form punta birleştirme 0,5 mm üstte 0,5 mm altta form punta birleştirmeye göre 9,78 kat daha mukavemetli bir birleştirme sağlanmıştır.



Şekil 5.7 Erdemir 1,5 mm alt-üst kalibrasyon oran grafiği

Şekil 5.8 grafiğine göre 2 mm sacın üstte 1 mm sacın altta olan form punta birleştirme 0,5 mm üstte 0,5 mm altta form punta birleştirmeye göre 2,55 kat daha mukavemetli bir birleştirme sağlanmıştır.



Şekil 5.8 Erdemir 2 mm alt-üst kalibrasyon oran grafiği

Yapılan deneyler sonucunda belirli standartlara bağlı kalınarak Erdemir 1312 kalite ve 0,5 mm -1 mm-1,5 mm -2 mm kalınlıklardaki malzemeler üzerinde form punta birleştirme uygulanmıştır. Bir tek dairesel formlu birleştirme kalıbı kullanılarak deneyler yapılmıştır. Farklı geometride kalıp uçları ile yapılan araştırmalarda Varis (2003) de yapmış olduğu araştırmada en iyi sonuçların dairesel geometride kalıp uçlarında sağlanmıştır.

Varis (2003), yaptığı çalışmada yüksek mukavemetli yapısal çeliklerde kullanılan form punta birleştirme yöntemini ve uygunluğunu test etmiş ev yapımı için kullanılan en uygun malzemeler üzerinde form punta yöntemlerini denemiş toplam 11 farklı form punta yöntemini yüksek mukavemetli malzemelerde deneyerek yapısal çeliklerde form punta yönteminin kullanılmasının uygun olduğu ve en iyi sonucu dairesel profilli birleştirme takımının ve kalın levhanın zımba tarafında olduğu durumlarda en büyük dayanımlarının elde edildiği sonucuna varmıştır.

Malzemelerin kalınlıklarına göre zımbada veya kalıp tarafındaki birleştirme konumları

form punta birleştirmelerde parça mukavemetlerinde önemli bir etken oluşturduğunu, dayanımlarına etki ettiği tespit edilmiştir.

M.Zeyveli (2012) form punta yöntemi ile birleştirilmiş, St 37 elik bağlantı levhalarının mekanik davranışları ve birleşme yapıları incelenmiştir. Bu amaçla, St 37 malzemeden standartlara uygun olarak bağlantı levhaları hazırlanmıştır. Bu levhalar, dairesel formlu kalıp seti kullanılarak birleştirilmiştir. Deneylerde; 0,8 mm, 1 mm, 1,5 mm ve 2 mm kalınlığında olmak üzere dört farklı St 37 elik levha kullanılmıştır. Deney sonuçlarına göre, aynı kalınlıktaki deney numunelerinin ve st levha kalınlığı, alt levha kalınlığından büyük olan birleştirmelerin daha iyi birleşme özelliği gösterdiği gözlemlenmiştir.

Malzemelerin kenetlenmelerini sağlayan boyunların incelmesini önlemek ve dayanımın artmasını sağlamak için malzeme kalınlıkları arttığa form punta sisteminde kullanılan zımba ve kalıbın çapı da arttırılmalıdır. Bu konuyla ilgili çalışmalar yapılarak malzeme kalınlığı ve özelliklerine göre kullanılabilecek en uygun birleştirme takım ölçüleri belirlenebilir.

6. KAYNAKLAR

- Carboni, M., Beratta, S., Monno, M. (2006). Fatigue behaviour of tensile-shear loaded clinched. *Joints Engineering Fracture Mechanics*. **73**: 178–190.
- Dingfeld, G. (2008). Eckold Brought Mechanical Joining Technology. Marketing Documentation. p.1-6
- Durdu, E.M. (2006). Punta Kaynağı ve Perçin Bağlantılarının Mukavemetlerinin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gibmeier, J., Rode, N., Lin Peng, R., Oden, M., Scholtes, B. (2002). Residual stress in clinched joints of metals. *Journal of Plant Physiology*, **74**: 1440-1442
- Jayasekara, V., Ho Min, V., Hoon Noh, J., Tae Kim, M., Min Seo, J., Lee, Y., Hwang, B. (2010). Rigid-Plastic and Elastic-Plastic Finite Element Analysis on the Clinching Joint Process of Thin Metal Sheets. *Metals and Materials International* **16**: 339-347
- Nong, N., Keju, O., Yu, Z., Zhiyuan, Q., Changcheng, T., Feipeng, L. (2003). Research on press joining technology for automotive metallic sheets. *Journal of Materials Processing Technology*. **137**: 159–163
- Oudjene, M., Ben-Ayed, L. (2008). On the parametrical study of clinch joining of metallic sheets using the Taguchi method. *Engineering Structures*. **30**: 1782–1788
- Paula, A.A., Agullar, M.T.P., Pertence, A.E.M., Cetlin P.R. (2007). Finite element simulations of the clinch joining of metallic sheets. *Journal of Materials Processing Technology*. **182**: 352–357
- Sjöström, P., Johansson, S.A.H. (2005). Residual Stress Relaxation During fatigue of Clinched joints in Stainless Steels. *Materials Science Forum*. **490-491**: 404-408
- Tan, Y., Hahn, O., Du, F. (2005). Process Monitoring Method with Window Technique for Clinch Joining. *Journal of ISIJ International*. **45**: 723–729

- Varis J.P. (2003). The suitability of clinching as a joining method for high-strength structural steel. *Journal of Materials Processing Technology*. **132**: 242–249
- Varis, J. (2006). Ensuring the integrity in clinching process. *Journal of Materials Processing Technology*. **174**: 277–285
- Varis, J. (2006). Economics of clinched joint compared to riveted joint and example of applying calculations to a volume product. *Journal of Materials Processing Technology*. **172**: 130–138
- Varis, J.P., Lepisto, J. (2003). A simple testing-based procedure and simulation of the clinching process using finite element analysis for establishing clinching parameters. *Thin-Walled Structures*. **41**: 691–709
- Zeyveli, M., Özkan, M., Ulaş, H.B. (2012). Perçinsiz perçinleme yöntemi ile birleştirilen St37 sac malzemeler mekanik davranışlarının incelenmesi. Uluslararası Demir-Çelik Sempozyumu, Karabük Üniversitesi, Zonguldak, 02-04 Nisan

İnternet Kaynakları

- 1) <https://www.youtube.com/watch?v=yWZvyjLc9GQ>, 01.02.2019
- 2) https://www.trumpf.com/tr_TR/ueruenler/elektrikliaetler/soguk-percinleme-el-aleti, 03.02.2019
- 3) <https://www.roblinc.com.tr/portfolios/percin-atma>, 03.02.2019
- 4) <https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard>, 10.02.2019
- 5) www.tox-en.com, 06.01.2019
- 6) <http://www.dk-power.com/TR/BTM.html>, 02.02.2019
- 7) www.erdemir.com.tr, 18.02.2019

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Murat Turan
Doğum Yeri ve Tarihi : Akşehir 25.01.1982
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 0506 850 16 42 / turan._murat@hotmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Tophane Teknik Lisesi ve Endüstri Meslek Lisesi,
(1997-2000)
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim
Fakültesi, Makine Ressamlığı ve Konstrüksiyon
Öğretmenliği, (2002-2006)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri
Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, (2017-
2019)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Palmet Mühendislik Taah. Servis Endüstri ve
Ticaret A.ş. (2007/2010)
3B Telekom Hizmetleri A.ş. (2010/2016)
Oyak Renault Otomobil Fabrikaları A.ş. (2016 /
Devam ediyor)