

**FORM PUNTA (CLINCHING) YÖNTEMİYLE BİRLEŞTİRİLMİŞ İNCE SAC
LEVHALARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hülya KAYA

DANIŞMAN

Yrd.Doç.Dr. Ahmet ÇETKİN

MAKİNE EĞİTİMİ

Nisan, 2012

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FORM PUNTA (CLINCHING) YÖNTEMİYLE BİRLEŞTİRİLMİŞ İNCE SAC
LEVHALARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Hülya KAYA

DANIŞMAN

Yrd.Doç.Dr. Ahmet ÇETKİN

MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Nisan, 2012

TEZ ONAY SAYFASI

Hülya KAYA tarafından hazırlanan “Form punta (Clinching) Yöntemiyle Birleştirilmiş İnce Sac Levhaların Mekanik Özelliklerinin Araştırılması” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca/...../..... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Eğitimi Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÇETKİN

Başkan : Prof. Dr. Kubilay ASLANTAŞ
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi,

Üye : Yrd. Doç. Dr. Barış GÖKÇE
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi,

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÇETKİN
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi,

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

Fen Bilimleri
Enstitü Müdürü
(Prof. Dr. Mevlüt DOĞAN)

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

05/04/2012

Hülya Kaya

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FORM PUNTA (CLINCHING) YÖNTEMİYLE BİRLEŞTİRİLMİŞ İNCE SAC LEVHALARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Hülya KAYA

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Ahmet ÇETKİN

Form punta yöntemi; herhangi bir bağlantı elemanı olmadan sac levhaları lokal bölgede meydana getirilen bir deformasyonla birleştirme işlemidir. Özellikle farklı malzemelerin birleştirilmesinde oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Geleneksel birleştirme yöntemlerinin teknik ve ekonomik yönden yetersizlikleri vardır. Form punta yöntemi bu olumsuzlukları ortadan kaldıran bir tekniktir.

Bu araştırmada, form punta yöntemiyle birleştirilmiş ince sac plakaların mekanik özellikleri araştırılmıştır. Çalışmanın amacı; form punta yöntemi ile yapılan bağlantıların dayanımlarının kalınlığa ve seçilen malzemelerin özelliklerine göre değişimini incelemektir. Form punta yöntemiyle bağlantılar için özellikle otomotiv endüstrisinde kullanılan galvanizli (St1314-St1312) çelik ve alüminyum (Al5754) plakalar seçilmiştir. Numunelere, sırasıyla TS EN ISO 14270 ve TS EN ISO 14273 standardına uygun olarak çekme deneyleri ve ayırma deneyleri uygulanmıştır. Birleştirilen sac kalınlıklarının düşmesiyle genel olarak dayanımın da düştüğü görülmüştür. Galvanizli çelik sac- alüminyum sac bağlantılarında; alüminyum plakaların altta olduğu durum, üstte olduğu duruma göre daha iyi sonuç vermiştir. Kalınlıkları ve malzeme özellikleri birbirine yakın olan malzemelerle yapılan bağlantılarda daha iyi değerler ölçülmüştür. Çok ince sac parçaların nispeten daha kalın saclarla yaptığı bağlantılarda çatlamlar görülmektedir.

2012, xii+80 sayfa

Anahtar Kelimeler: Birleştirme, Form punta, Sac Metal.

ABSTRACT

M.Sc Thesis

INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF THIN SHEET PLATE THE JOINED WITH CLINCHING METHODS

Hülya KAYA

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Education

Supervisor: Assoc.Prof.Dr. Ahmet ÇETKİN

Clinching is a joining method in which sheet metal parts are deformed locally without the use of any additional elements. This method gives very good results, especially in combination of different materials. Clinching Method eliminates technical and economic shortcomings of conventional joining methods.

In this research, mechanical properties of thin sheet metals which are joined together with Clinching Method are investigated. Aim of this study is to examine exchange according to the materials and thickness of strength of joints which made with Clinching Method. Galvanized steel (St1314) which is used especially in automotive industry and aluminum (Al5754) sheets were selected for Clinching joints. Tensile and peeling tests were carried out according to TS EN ISO 14273 and TS EN ISO 14270 respectively. Results showed that when the thickness of sheet decreases, the strength of join also decreases. Concerning steel sheet-aluminum sheet connections; in condition which aluminum sheets are below gives us better results than the aluminum sheets are on upper condition. The values obtained from the sheets of which with similar thickness and material properties are better than the others. Cracks observed at the joins of ultra thin sheets with thicker sheets from itself.

2012, xii+80 pages

KeyWords: Clinching, Joining, Sheets.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmada; deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Yrd.Doç.Dr. Ahmet ÇETKİN'e, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Hülya KAYA
AFYONKARAHİSAR, 2012

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	ii
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
2.1 Sac Malzeme Birleştirme Yöntemleri.....	12
2.1.1 Kaynaklı Birleştirme	16
2.1.1.1 Punta Kaynağı.....	16
2.1.1.2 Dikiş Kaynağı	17
2.1.2 Lehim.....	17
2.1.2.1 Yumuşak Lehim.....	18
2.1.2.2 Sert Lehim	18
2.1.3 Perçinli Bağlantılar	20
2.1.4 Kenetli Bağlantılar	21
2.1.5 Pimli Birleştirmeler	23
2.1.6 Delikli Form Punta Yöntemiyle Birleştirme.....	24
2.1.7 Perçinli Form Punta Yöntemiyle Birleştirme	25
2.1.8 Form Punta Yöntemi	26
2.1.8.1 Form Punta Yönteminin Avantajları	29
2.1.8.2 Form Punta Bağlantı Tipleri	30
2.1.8.3 Form Punta Yönteminin Kullanım Alanları	31
2.1.8.4 Form punta Uygulamaları	35
3. MATERYAL VE METOD	37
3.1 Malzeme Seçimi	37
3.1.1 St 1312 ve St 1314 Plakaların Mekanik ve Kimyasal Özellikleri.....	38

3.1.2 Al-5754 Plakaların Mekanik ve Kimyasal Özellikleri	39
3.2 Deney Numunelerinin Hazırlanması	39
3.3 Malzemelerin Birleştirilmesi.....	42
3.4 Çekme Testlerinin Yapılması.....	45
3.5 TSE EN ISO 6892-1 Standardına Uygun Çekme Deneyleri	46
4. BULGULAR.....	48
4.1 Çekme Deney Sonuçlarının Normalizasyonu	48
4.2 1mm Kalınlığındaki St1314 Plakaların Birleştirilmesi.....	49
4.3 1mm Kalınlığındaki St1312 Plakaların Birleştirilmesi.....	57
4.4 1mm Kalınlığındaki AW5754 Plakaların Birleştirilmesi	62
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	69
6. KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ.....	80

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

t_t	Üst sac kalınlığı (mm)
t_b	Alt sac kalınlığı(mm)
kN	Kilo Newton
N	Newton
R_d	Kalıp yarıçapı (mm)
H	Kalıp derinliği (mm)
C	Kalıp boşluğu (mm)
G	Kalıp oluk şekli
U	Kenetlenme uzunluğu (mm)
N	Boyun verme kalınlığı (mm)
kg	Kilogram
Fe	Demir
Si	Silisyum
Cu	Bakır
Mn	Mangan
Mg	Magnezyum
Zn	Çinko
Cr	Krom
Ti	Titanyum
Al	Alüminyum
Rm	Çekme Dayanımı (N/mm ²)
A	Kopma Uzaması (%)
b_o	Genişlik (mm)
L_o	İlk ölçü uzunluğu (mm)
L_c	Paralel uzunluk (mm)
L_t	Her bir malzeme uzunluğu (mm)
t	Kalınlık (mm)
a	Üst üste binme mesafesi (mm)
b	Genişlik (mm)

l_s	Her bir sac uzunluğu (mm)
l_f	Saclar arasındaki serbest uzunluk (mm)

Kısaltmalar

MIG	Metal Inert Gaz
MAG	Metal Aktif Gaz
TIG	Tungsten Inert Gaz
DD13	Soğuk şekillendirmeye ve derin çekmeye uygun çelik
DD14	Yaşlanmaya dayanıklı ekstra derin çekmeye uygun çelik
DX53+Z	Soğuk şekillendirmeye uygun düşük karbonlu çinko ile kaplanmış galvanize çelik
AlMg5	Alüminyum bazlı alaşım
ZStE340	Yüksek alaşımlı çelik
Al5052	Kalıp oluk şekli
DP780	Dual PhaseStell (çift fazlı çelik)
St1314	Soğuk şekillendirmeye uygun galvanizli sac
St1312	Soğuk şekillendirmeye uygun galvanizli sac
AW5754	AlMg3 Alüminyum magnezyum alaşımı
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
EN	EuropeanNorm
ISO	International Organization for Standardization

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Değişik birleştirme yöntemlerinin montaj zamanı açısından değerlendirilmesi.....	3
Şekil 2.2 Değişik birleştirme yöntemlerinin maliyet açısından değerlendirilmesi	4
Şekil 2.3 a) Geleneksel form punta b) Dieless form punta birleştirme şekilleri	5
Şekil 2.4 Form punta birleştirme yöntemi ile self-piercing birleştirme yönteminin birleştirme sayısı-maliyet açısından değerlendirilmesi	7
Şekil 2.5 Birleştirme kesitleri a) Tox Pressotechnik GmbH b) Walter Eckold GmbH ..	9
Şekil 2.6 Oluşan artık gerilme bölgeleri	9
Şekil 2.7 Form punta ile birleştirilmiş malzeme kesiti	10
Şekil 2.8 Kalıp derinliği (H) ve kalıp yarıçapının (R_d) farklı koşullar altında yapılan deneylerdeki birleşmelerin kesin görünüşleri	11
Şekil 2.9 Form punta yöntemiyle birleştirilmiş parça kesiti	12
Şekil 2.10 Farklı malzemelerin yaptığı bağlantıların kesit görünüşü.....	12
Şekil 2.11 Farklı kalınlıklardaki plakalarla yapılan bağlantıların kesit görünüşü... ..	13
Şekil 2.12 Farklı kalıp derinlikleriyle yapılan bağlantıların kesit görünüşleri... ..	13
Şekil 2.13 Kafes sistemlerinde 0° ve 45° açılarla dikdörtgen formlu bağlantı kullanımı	13
Şekil 2.14 a)Cıvata ve somun b)Sökülemeyen kaynaklı bir birleştirme	14
Şekil 2.15 Sac birleştirme yöntemleri	15
Şekil 2.16 Punta kaynağı şematik görünümü	17
Şekil 2.17 Dikiş kaynağı uygulanış şekli	17
Şekil 2.18 Lehim yönteminin uygulanış şekli	19
Şekil 2.19 Sert lehimleme yöntemi kullanılarak birleştirilmiş endüstriyel malzemelere örnekler	19
Şekil 2.20 Bindirme perçinleme	20
Şekil 2.21 Tek yamalı perçinleme.....	20
Şekil 2.22 İki yamalı perçinleme.....	20
Şekil 2.23 Kenet eki kullanılarak yapılmış soba boruları	21
Şekil 2.24 Kenetli birleştirme ile imal edilmiş parça örnekleri.....	22

Şekil 2.25	Tek kenetleme	22
Şekil 2.26	Çift kenetleme.....	23
Şekil 2.27	Özel kenetleme.....	23
Şekil 2.28	a) Silindirik düz yuvarlak başlı kertikli pim b) Silindirik düz havşa başlı kertikli pim.....	23
Şekil 2.29	Delikli form punta işlem basamağı	24
Şekil 2.30	Delikli form punta saplama ve vida örnekleri	25
Şekil 2.31	Perçinli form punta yönteminde işlem basamağı	26
Şekil 2.32	a)Plastik-alüminyum iki katmanlı birleştirmeb) Alüminyum-çelik-alüminyum üç katmanlı birleştirme	26
Şekil 2.33	1982 yılında üretilen ilk form punta pensesi	27
Şekil 2.34	Form punta işleminde işlem akışı	28
Şekil 2.35	TOX-TWIN point sistemi... ..	28
Şekil 2.36	Dairesel olarak form punta işlemi uygulanmış parça	30
Şekil 2.37	Dikdörtgen biçimli form punta işlemi uygulanmış parça... ..	31
Şekil 2.38	Form punta sisteminin otomotiv endüstrisindeki kullanım alanları.....	32
Şekil 2.39	Form punta sisteminin bir otomobilde kullanıldığı yerlerin genel görünümü	32
Şekil 2.40	Dairesel ve dikdörtgen tipli bağlantıların havalandırma kanallarındaki kullanım örnekleri	33
Şekil 2.41	Dosya dolabındaki uygulama örneği	33
Şekil 2.42	Garaj kapısı ve elektrik kutusu	34
Şekil 2.43	Çamaşır makinesi dış çerçevesi ve mikrodalga fırın	34
Şekil 2.44	Elektrik aksanları uygulamaları.....	34
Şekil 2.45	Form punta işleminin manuel uygulaması.....	35
Şekil 2.46	Form punta el makinesi.....	36
Şekil 2.47	Robot kollarına bağlanmış otomatik form punta uygulama örnekleri.....	36
Şekil 3.1	a)Alüminyum jant b) Alüminyum silindir başlığı	37
Şekil 3.2	AUDI A8 model otomobil alüminyum parçaları.....	38
Şekil 3.3	TSE EN ISO 6892-1 Standardına uygun çekme deneyi numune örneği	40
Şekil 3.4	TSE EN ISO 14273 Standardına uygun birleştirme numune örneği.....	41
Şekil 3.5	TSE EN ISO 14270 Standardına uygun birleştirme numune örneği.....	41

Şekil 3.6	Numunelerin bağlantılarında kullanılan aparatın bilgisayarda tasarlanan şekli	42
Şekil 3.7	Tasarlanan aparatın form punta makinesine monte edilmiş hali	43
Şekil 3.8	Form punta el makinesi genel parçaları.....	43
Şekil 3.9	Form punta ile birleştirilmiş parça kesiti	44
Şekil 3.10	TSE EN ISO 14270 Standardına uygun birleştirilen malzemeler.....	45
Şekil 3.11	AGS-J AUTOGRAPH Universal test cihazı.....	45
Şekil 3.12	TSE EN ISO 6892-1 standardına uygun çekme deneyi için hazırlanan numuneler	47
Şekil 3.13	TSE EN ISO 6892-1 standardına uygun çekilmiş ve hasara uğrayan malzemeler	47
Şekil 4.1	TSE EN ISO 14270 Standardına uygun çekme deneyinin uygulanişı	49
Şekil 4.2	1mm kalınlığındaki St1314 plakaların TSE EN ISO 14273 standardına göre çekme kuvvetleri (1mm St1314 altta iken)	50
Şekil 4.3	1mm kalınlığındaki St1314 plakaların TSE EN ISO 14273 standardına göre çekme kuvvetleri (1mm St 1314 üstte iken).....	51
Şekil 4.4	Farklı malzemelerin bağlantı kesitleri	53
Şekil 4.5	1mm kalınlığındaki St1314 plakaların TSE EN ISO 14270 standardına göre çekme kuvvetleri (1mm St 1314 altta iken)	54
Şekil 4.6	1mm kalınlığındaki St1314 plakaların TSE EN ISO 14270 standardına göre çekme kuvvetleri (1mm St 1314 üstte iken).....	55
Şekil 4.7	a) Ayırma (kabuk soyma testi b) Çekme (kayma) testi	56
Şekil 4.8	1 mm St 1314 ile AW5754 arasında yapılan bağlantı kesitleri.....	56
Şekil 4.9	1mm kalınlığındaki St1312 plakaların TSE EN ISO 14273 standardına göre çekme kuvvetleri (1mm St 1312 altta iken)	57
Şekil 4.10	1mm kalınlığındaki St1312 plakaların TSE EN ISO 14273 standardına göre çekme kuvvetleri (1mm St 1312 üstte iken).....	58
Şekil 4.11	1mm kalınlığındaki St1312 plakaların TSE EN ISO 14270 standardına göre çekme kuvvetleri (1mm St 1312 altta iken)	60
Şekil 4.12	1mm kalınlığındaki St1312 plakaların TSE EN ISO 14270 standardına göre çekme kuvvetleri (1mm St 1312 üstte iken)	61

Şekil 4.13	St1314xSt1312 ile St1312xSt1312 kombinasyonlarının yaptığı bağlantıların kesit görünüşü.....	62
Şekil 4.14	1mm kalınlığındaki AW5754 plakaların TSE EN ISO 14273 standardına göre çekme kuvvetleri (1mm AW-5754 altta iken).....	63
Şekil 4.15	1mm kalınlığındaki AW5754 plakaların TSE EN ISO 14273 standardına göre çekme kuvvetleri (1mm AW 5754 üstte iken).....	64
Şekil 4.16	İnce sacların iç formu oluşturduğu bağlantı kesit görünüşü	65
Şekil 4.17	1mm kalınlığındaki AW5754 plakaların TSE EN ISO 14270 standardına göre çekme kuvvetleri (1mm AW5754 altta iken)	66
Şekil 4.18	1mm kalınlığındaki AW5754 plakaların TSE EN ISO 14270 standardına göre çekme kuvvetleri (1mm AW-5754 üstte iken)	67
Şekil 4.19	Farklı malzemelerle yapılan bağlantıların kesit görünüşleri	67
Şekil 5.1	Bağlantı için seçilen plakaların TSE EN ISO 14270 standardına göre altta ve üstte yer almasına göre çekme kuvvetlerinin değişimi	70
Şekil 5.2	Bağlantı için seçilen plakaların TSE EN ISO 14273 standardına göre altta ve üstte yer almasına göre çekme kuvvetlerinin değişimi	70
Şekil 5.3	Alüminyum ile çelik arasındaki bağlantının kesit görünüşü	71
Şekil 5.4	TSE EN ISO 14273 standardına göre, aynı malzemelerle yapılan bağlantılarda ince sacın altta veya üstte olma durumu	72
Şekil 5.5	TSE EN ISO 14270 standardına göre, aynı malzemelerle yapılan bağlantılarda ince sacın altta veya üstte olma durumu	72
Şekil 5.6	TSE EN ISO 14273 Standardına uygun yapılan deneylerdeki iyi ve kötü birleştirme kesitleri	73
Şekil 5.7	TSE EN ISO 14270 Standardına uygun yapılan deneylerdeki iyi ve kötü birleştirme kesitleri	73

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Farklı metal birleştirme yöntemlerinin birleştirilebilirliğinin incelenmesi	29
Çizelge 3.1 St 1312 ve St 1314'ün kimyasal bileşimi.	39
Çizelge 3.2 St 1312 ve St 1314'ün mekanik özellikleri.	39
Çizelge 3.3 Al 5754 malzemesinin kimyasal bileşimi.....	39
Çizelge 3.4 Al 5754 malzemesinin mekanik özellikleri.	39
Çizelge 3.5 TSE EN ISO 6892-1 Standardı ölçü değerlerleri.	40
Çizelge 3.6 TSE EN ISO 14273 Standardı ölçü değerlerleri	40
Çizelge 3.7 TSE EN ISO 14270 Standardı ölçü değerlerleri.	41
Çizelge 3.8 Deneylerdeki birleştirme grupları	44
Çizelge 3.9 TS EN ISO 6892-1 standardına uygun yapılan çekme deneyi sonucunda elde edilen bazı değerler	46
Çizelge 4.1 Birleştirilen malzemelerden kalınlıkları oranında beklenen dayanımlar ..	48
Çizelge 4.2 1mm kalınlığındaki St1314 plakaların TSE EN ISO 14273 standardına göre çekme kuvvetleri (1mm St1314 altta iken).	50
Çizelge 4.3 1mm kalınlığındaki St1314 plakaların TSE EN ISO 14273 standardına göre çekme kuvvetleri (1mm St 1314 üstte iken)	51
Çizelge 4.4 1mm kalınlığındaki St1314 plakaların TSE EN ISO 14270 standardına göre çekme kuvvetleri (1mm St 1314 altta iken).	53
Çizelge 4.5 1mm kalınlığındaki St1314 plakaların TSE EN ISO 14270 standardına göre çekme kuvvetleri (1mm St 1314 üstte iken).	54
Çizelge 4.6 1mm kalınlığındaki St1312 plakaların TSE EN ISO 14273 standardına göre çekme kuvvetleri (1mm St 1312 altta iken)	57
Çizelge 4.7 1mm kalınlığındaki St1312 plakaların TSE EN ISO 14273 standardına göre çekme kuvvetleri (1mm St 1312 üstte iken).	58
Çizelge 4.8 1mm kalınlığındaki St1312 plakaların TSE EN ISO 14270 standardına göre çekme kuvvetleri (1mm St 1312altta iken)	59
Çizelge 4.9 1mm kalınlığındaki St1312 plakaların TSE EN ISO 14270 standardına göre çekme kuvvetleri (1mm St 1312üstte iken).	60

Çizelge 4.10 1mm kalınlığındaki AW5754 plakaların TSE EN ISO 14273 standardına göre çekme kuvvetleri (1mm AW-5754 altta iken).....	62
Çizelge 4.11 1mm kalınlığındaki AW5754 plakaların TSE EN ISO 14273 standardına göre çekme kuvvetleri (1mm AW-5754 üstte iken).....	63
Çizelge 4.12 1mm kalınlığındaki AW5754 plakaların TSE EN ISO 14270 standardına göre çekme kuvvetleri (1mm AW5754 altta iken).....	65
Çizelge 4.13 1mm kalınlığındaki AW5754 plakaların TSE EN ISO 14270 standardına göre çekme kuvvetleri (1mm AW-5754 üstte iken).....	66

1. GİRİŞ

Otomotiv sektöründeki teknolojik gelişmeler ve yenilikçi arayışlar, yeni üretim tekniklerinin ortaya çıkmasını sağlamış, üretim teknolojilerinde ve malzeme seçimindeki çeşitlilik, mekanik bağlantıların yapılmasında alışılmadık sorunlara neden olmaya başlamıştır. Bu sorunları çözmek ve imalatı daha da kolaylaştırmak için yeni birleştirme teknikleri üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Bununla birlikte otomotiv sektöründe; son yıllarda hafif yapı stratejileri ekonomik nedenler ve çevre koruması açısından giderek daha önemli bir hale gelmiştir. Değişik malzemeler bir arada kullanılarak yapıların ağırlığı azaltılmak istenmiş, fakat farklı türdeki malzemelerin birleştirilmesi her zaman problem olmuştur. Otomotiv sektörünün vazgeçilmez birleştirme tekniklerinden ve bu sektörün ayrılmaz bir parçası olan kaynak yöntemi, bu tip bağlantılarda yetersiz kalmaktadır. Form punta tekniği ise bütün bu problemleri ortadan kaldırmak için geliştirilen ideal bir tekniktir (Çektin 2011, Neugebauer et al. 2008).

Form punta yöntemi; herhangi bir ek malzeme kullanmaksızın bağlanması istenen iki yada ikiden çok sac levhanın lokal bir deformasyona uğratarak birleştirilmesi işlemidir. Bu teknoloji yeni bir yöntem değildir, ilk patenti 1897 gibi erken bir tarihte Almanya’da alınmıştır. Ancak seksenli yıllara kadar endüstride kullanılmamıştır (Varis and Lepisto 2003). Günümüzde otomotiv endüstrisinde özellikle de araç gövdelerinin bazı kısımlarında, ev eşyalarında, bilgisayar endüstrisinde, havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinde kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır.

Form punta tekniğiyle yapılan bağlantıları etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Çetkin (2010)'e göre, oldukça fazla faktöre bağlı olan birleştirme özelliklerinin yalnızca birkaç kritere bağlı olarak değerlendirilmesi doğru değildir. Çetkin (2010), bağlantıların mekanik özelliklerini incelemek için yaptığı çalışmasında, yalnızca tek tip yuvarlak formlu takım kullanmış ve değişik formlardaki takımlarla ve kalıp şekilleriyle yapılan birleştirmelerdeki değişen bağlantı özelliklerinin incelenmesini önermiştir. Varis (2003) ile Oudjene ve Ben-Ayed (2008) ise birleşmelerde takım geometrisinin ve kalıp şeklinin önemini araştırmış, dairesel formlu birleşmelerin daha iyi olduğunu belirlemişlerdir.

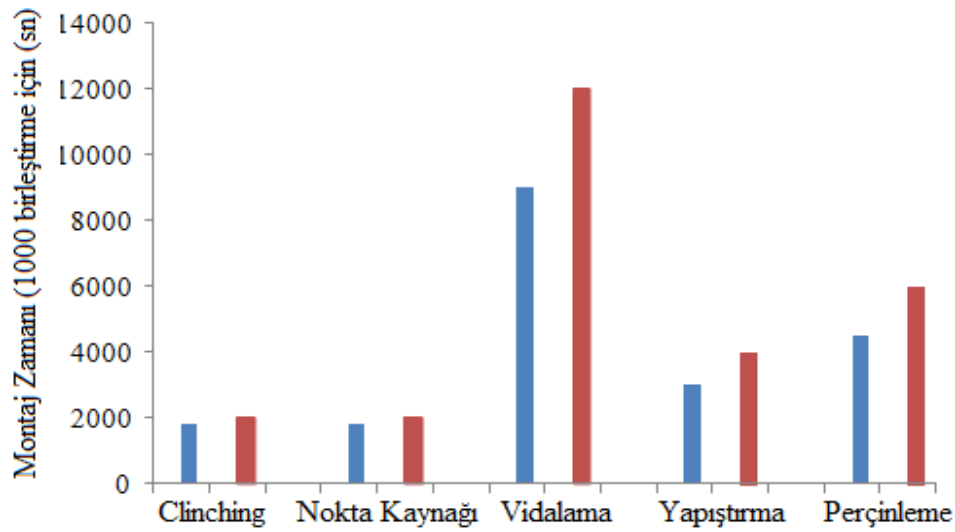
Yurtdışında bu konu ile ilgilenen birçok firma olmasına rağmen, ülkemizde bu yöntemi kullanan firma sayısı oldukça azdır. Diğer birleştirme yöntemlerine göre daha sessiz, daha az maliyetli, ısı, koku, duman, gaz gibi faktörleri içermemesi, farklı malzemelerin bağlantılarında kullanılabilirliği bu yöntemin en önemli özelliklerindendir. Günümüzde birçok sektörde seri üretimin önemi gün geçtikçe artmaktadır. Form punta yöntemi de vidalama ve perçinleme gibi yöntemlere göre çok daha seri ve hızlıdır. Bu tekniğin ülkemizde de tanınıp, üretimde daha çok yer alması amacıyla, bu yöntem üzerine bir çalışma yapılmasına karar verilmiştir.

Bu tez çalışmasında; otomotiv endüstrisinde kullanılan malzemelerden galvanizli çelik sac (St1314 ve St1312) plakalar ile alüminyum alaşımlı sac (AW5754) plakalar form punta yöntemiyle TSE EN ISO 14273 ve TSE EN ISO 14270 standartlarına göre birleştirilmiş ve çekme işlemine tabi tutulmuştur. Kalınlığın, yapılan bağlantıların dayanımını ne oranda etkilediğini belirlemek amacıyla, her malzeme gurubunda bir mm kalınlığındaki saclar sabit tutulup değişik kalınlıktaki sac plakalar ile birleştirmeler yapılmıştır. Çekme işlemleri sonucunda elde edilen değerler incelendiğinde kalınlığın düşmesiyle, genelde dayanımın da düştüğü belirlenmiştir. Birleştirilen malzemelerin kalınlıkları ve özellikleri birbirine yakın olduğunda bağlantı dayanımlarının daha iyi olduğu görülmüştür. Özellikle farklı kalınlıktaki iki sac plakanın birleştirilmesinde; ince sacın altta olması, kalın sacın altta olması durumuna göre daha iyi sonuç vermiştir. Mucha (2011) yaptığı çalışmasında üst sac ve alt sac oranlarına göre dayanımın nasıl değiştiğini incelemiştir. (Yapılan tez çalışmasında elde edilen sonuçlar, Mucha'nın yaptığı çalışması ile karşılaştırıldığında benzer sonuçlar elde edildiği belirlenmiştir.) Yapılan çalışmada; alüminyum plakalar ile St1312 ve St1314 plakalar arasında yapılan birleştirmelerde alüminyum sacın altta olması durumunda elde edilen değerler, üstte olması durumuna göre daha iyi sonuç vermiştir. St1312 ile St1314 arasındaki birleşmelerde de St1314'ün altta olması durumunda daha iyi sonuç vermiştir.

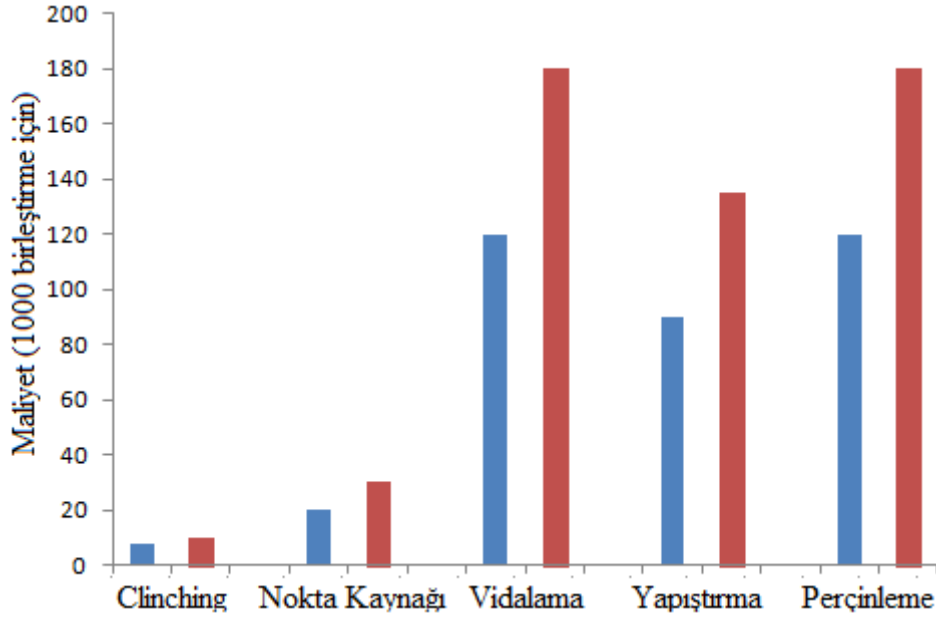
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Form punta, mekanik bağlantı sonucu iki sac metalin bir alanda deformasyona uğraması ile oluşan bir birleştirme yöntemidir. Birleştirmeler bir zımba, bir kalıp ve bir baskı plakasından oluşan basit araçlarla yapılır. Geleneksel birleştirme yöntemlerinde olduğu gibi (örneğin; perçin, vida, punta kaynağı) ek malzemeler kullanmaksızın sacların soğuk deformasyonunu içerir. Geleneksel yöntemlerin aksine önceden delik delme, yardımcı malzeme ya da ek elemanlara ihtiyaç yoktur. Form punta yöntemi ile toplam kalınlığı 0,1 mm ile 10 mm arasındaki kalınlıklardaki yumuşak sac metaller birleştirilebilir. Genel olarak iki levhanın birleştirilmesinde kullanılmasına rağmen esas olarak sac kalınlığı 3 mm'den daha az olan malzemelerin birleştirilmesine yöneliktir (Coppieters et al. 2007, Jayasekara et al. 2010).

Geleneksel birleştirme yöntemleri ile form punta yöntemi arasında, çeşitli konulara göre karşılaştırmalar yapılmıştır. Rimašauskas and Bargelis (2005)'de yaptıkları çalışmada form punta birleştirme yöntemi ile vidalı birleştirme, perçinli birleştirme ve nokta kaynaklı birleştirme yöntemlerini montaj zamanı ve montaj maliyeti bakımından karşılaştırmıştır. Minimum montaj maliyeti ile minimum montaj zamanının form punta ve nokta kaynağı yönteminde olduğunu belirtmişlerdir (Şekil 2.1 ve Şekil 2.2). Yüksek verimlilikte de aynı şekilde form punta birleştirme yöntemi ve nokta kaynağı metodunun diğer metotlara göre daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir.



Şekil 2.1 Değişik birleştirme yöntemlerinin montaj zamanı açısından değerlendirilmesi (Rimašauskas and Bargelis 2005).



Şekil 2.2 Değişik birleştirme yöntemlerinin maliyet açısından değerlendirilmesi (Rimašauskas and Bargelis 2005).

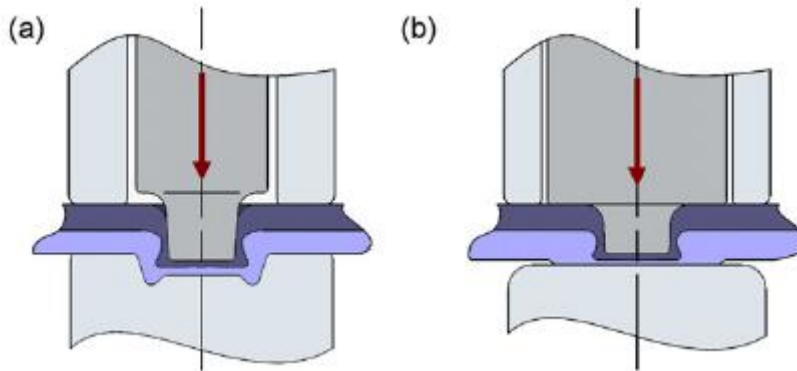
Benzer bir çalışmayı da Mucha vd. (2011) yapmıştır. Çalışmalarında form punta birleştirme yöntemi ile nokta kaynağını karşılaştırmış, form punta birleştirme yönteminin avantajlarından bahsetmişlerdir. Bunun yanında motorlu araç gövde parçalarının imalatında kullanılan; soğuk şekillendirmeye ve derin çekmeye uygun çelik levha (DD13), yaşlanmaya dayanıklı ekstra derin çekmeye uygun çelik levha (DD14) ve soğuk şekillendirmeye uygun düşük karbonlu çinko ile kaplanmış galvanize çelik levhaları (DX53+Z) kullanarak deneyler yapmışlardır. Yaptıkları analizler sonucunda aynı malzemeler birleştirilirken DD13 ile yapılan birleştirmelerin DD14 ile yapılan birleştirmelerden %11-%15 daha dayanıklı olduğunu tespit etmişlerdir. Aynı zamanda birleştirmelerde sac levhaların düzeninin değiştirilmesi de (plakaların alt-üst yer değiştirilmesi), yaklaşık %63 değişiklik ile sonuçlanmıştır (Mucha et al. 2011).

Mucha (2011) yapmış olduğu başka bir çalışmada yüksek mukavemetli çeliklerin form punta yöntemiyle birleştirilebilirliklerine, birleştirme parametrelerinin etkisini incelemiştir. Yaptığı çalışmasında sonlu elemanlar yönteminden faydalanmış ve deneylerde H320LA malzemesini kullanmıştır. Kalıp formunun, birleştirme boyutu ve maksimum şekillendirme kuvveti üzerinde etkisini tespit etmek için farklı boyutlarda kalıp formları ele almıştır. Elde ettiği sonuçlarda, kalıp radüsü, kalıp derinliği ve kalıp

şeklinin yüksek mukavemetli çeliklerin birleştirilebilirliklerini doğrudan etkilediğini ispatlamıştır. Kalıp genişliğinin malzeme akışını ve birleştirme işleminin enerji tüketimini etkileyen en önemli parametre olduğunu tespit etmiştir (Mucha 2011).

Otomotiv endüstrisinin gövde üretiminde hafif tasarımlar ancak farklı malzemelerin birlikte kullanımı ile gerçekleşmektedir. Özellikle gövdelerde yüksek mukavemetli çelikler ve alüminyum malzemelerin kullanımı her geçen gün artmaktadır. Bu yüzden bu malzemelerin bağlantıları bir gereksinim olmuştur. Form punta yöntemi bu tip farklı malzemelerin bağlantıları için uygun bir tekniktir (Busse et al. 2010).

Magnezyum alaşımlı plakaların birleştirilmesinde kullanılan geleneksel sac birleştirme yöntemleri de, magnezyumun düşük şekillendirilebilirliğinden dolayı, birleştirilmeleri oldukça zor ve sınırlıdır. Alüminyum ya da çelik gibi diğer malzemelerin birleştirilmesi ile karşılaştırıldığında ise, daha fazla masraf gerektirir. Çelik ve alüminyum ile yapılan bağlantılar kadar verimli olmasa da, Form punta tekniğiyle magnezyum malzemelerin birleştirilmesi de mümkündür (Mucha 2011). Neugebauer vd. (2008) magnezyum plakalarının birleştirilmesi üzerine yaptıkları bir çalışmada, yeni bir form punta yöntemini (kalıpsız form punta) ele almışlar ve magnezyum plakalarının mekanik birleştirme işlemini geliştirmeyi hedeflemişlerdir. Kalıpsız form punta yöntemiyle birleştirmede, form punta yönteminde olduğu gibi alt kalıba ihtiyaç yoktur (Şekil 2.3). Alt kalıp yerine yalıtımlı düz bir alt plaka kullanılır.



Şekil 2.3 a) Geleneksel form punta b) Kalıpsız form punta birleştirme şekilleri.

Alt plakanın ısıtılması ile birleştirme noktasına kadar olan bölgede hızlı bir ısı transferi akışı sağlanır. Böylelikle birleştirme işlemi form punta yöntemine göre, çok daha hızlı ve seri şekilde gerçekleşir. Yapılan çalışmayla birleşme bölgesinde geleneksel form punta yöntemine göre çok daha az çatlak oluştuğu gözlemlenmiştir. Ayrıca birleştirilecek plakalar için eş eksenli hizalamaya ihtiyaç duyulmaması yöntemin diğer form punta yöntemlerine nazaran daha hızlı ve seri olmasını sağlamıştır (Neugebauer et al. 2008).

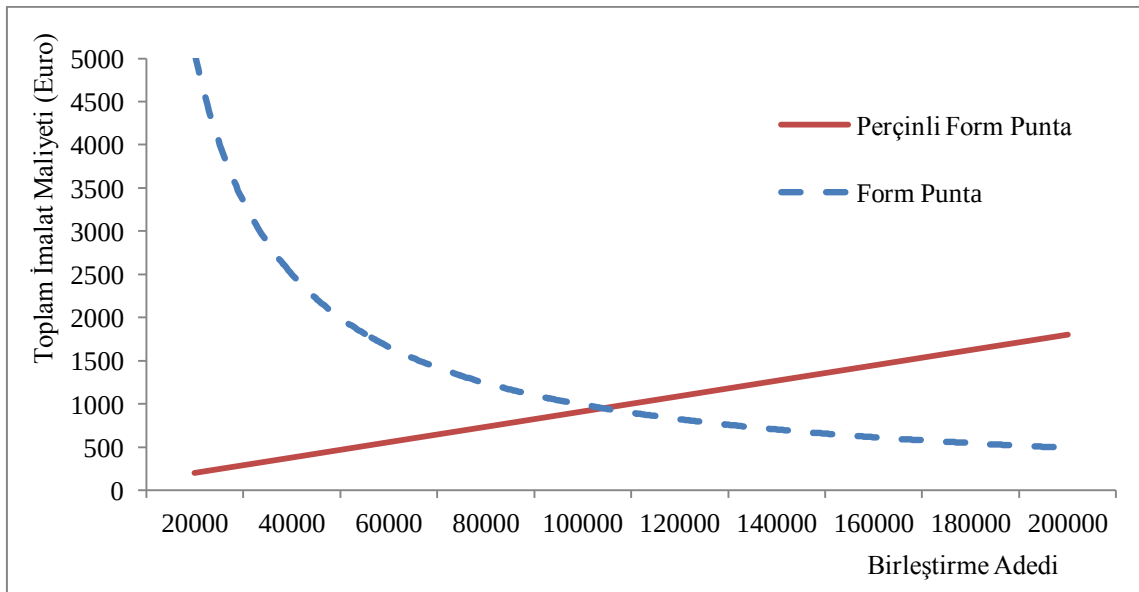
Çok farklı form punta birleştirme çeşitleri vardır. Özellikle takım geometrilerine bağlı olarak değişik birleştirme gurupları oluşturulabilir (Coppieters et al. 2007). Yüksek mukavemetli çelik malzemeleri on bir farklı form punta türünde birleştirip deneyler yapan Varis (2003)'in seçtiği takım geometrilerinin dört tanesi dairesel formlu ve yedi tanesi ise dikdörtgen formlu takımlardır. Toplamda 469 adet test sonucunda ve tüm malzeme çeşitlerinde dairesel formlu birleştirmelerin diğerlerine göre daha iyi sonuç verdiğini tespit etmiştir.

Oudjene ve Ben-Ayed (2008) ise yaptıkları çalışmada Varis (2003) gibi form punta birleştirmelerinde takım ve kalıp geometrisinin birleştirmenin dayanımına etkisini araştırmışlardır. 0,5 mm kalınlığında alüminyum alaşımlı sac (Al5754) kullanarak yaptıkları çalışmayı Taguchi yönteminden faydalanarak deney sayılarını azaltmışlardır. Taguchi yöntemi ile ulaştıkları parametreleri Abaqus/Explicit'da analiz etmişlerdir. Parametreleri belirlerken özellikle çentik kalınlığını göstermeyi, kenetlenmeyi sağlamayı ve maksimum ayırma gücünü göstermeyi amaçlayarak çalışmalarını yapmışlardır.

Paula vd. (2007)'de, Oudjene ve Ben-Ayed (2008) gibi form punta yöntemi için en uygun takım geometrisini sonlu elemanlar yönteminden faydalanarak tespit etmeye çalışmıştır. DEFORM 2D programını kullanarak form punta birleştirmelerinin simülasyonlarını yapmışlardır. Takım geometrisinin birleştirmeyi ne oranda etkilediğini araştırmışlardır. Sonuç olarak; takım geometrisinin oluşan birleşmeleri ciddi oranda etkilediğini ve birleşmelerde S formunun ne kadar iyi olursa birleşmenin de o oranda iyi olduğunu saptamışlardır.

Form punta birleştirmelerinde dayanım, takım geometrisi gibi konular üzerine birçok bilimsel çalışma vardır. Yapılan bağlantıların uzun süreli kullanımlarında karşılaşılan problemleri hakkında çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. Varis (2006a) cliche birleştirmelerinin uzun süreli kullanımında karşılaşılan çeşitli problemler üzerine çalışmıştır. Sistematik bakım eksikliği ve sürekli takibin her ikisinin de etkileri üzerine yaptığı çalışmasında yapı içindeki değışikliklerin önemini gerçek bir durum çalışmasına dayanarak değerlendirmiştir. Aynı zamanda iyileştirme ve geliştirmeler için önerilerde sunmuştur. Sürekli kalite kontrolün toplam işlem sürecinin gerekli ve önemli bir parçası olduğunu belirlemiş ve ticari analiz yazılımlarının verilerini analiz etmek için daha etkin bir yöntem olabileceğini önermiştir.

Varis (2006b) yaptığı bir başka çalışmasında perçinli form punta yöntemi ile form punta yöntemini maliyet açısından değerlendirmiştir. Mekanik birleştirme yöntemi olan perçinli form punta ve form punta yöntemleri 1980’li yıllarda geliştirilmiş ve her ikisi de otomotiv sektöründe kullanılmaktadır. Bir takımın 5000 ile 200000 arasında birleştirme yapabileceğini düşünerek yapılan hesaplamalarda, aşağıdaki Şekil 2.4’te de görüldüğü gibi, form punta yönteminde işlem sayısı arttıkça maliyet düşmekte perçinlemede ise artmaktadır. Sonuçta, Varis (2006b) çalışmasında form punta birleştirme yönteminin seri üretimde daha az maliyet gerektirdiğini tespit etmiştir.

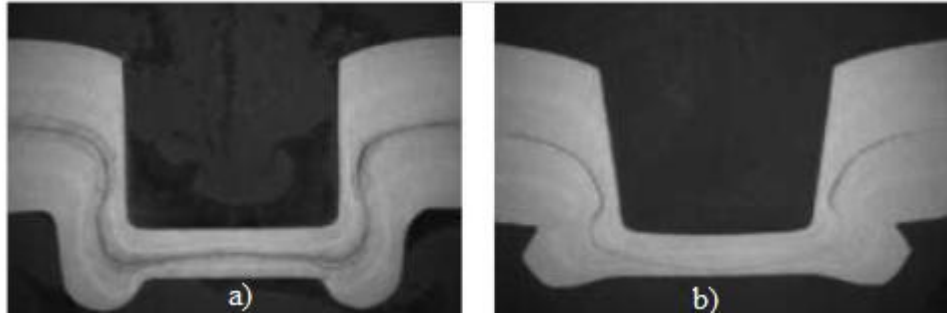


Şekil 2.4 Form punta birleştirme yöntemi ile Perçinli form punta birleştirme yönteminin birleştirme sayısı-maliyet açısından değerlendirilmesi (Varis 2006b).

Form punta yönteminin patenti 1897 gibi erken bir tarihte alınmasına rağmen, bu teknoloji son otuz yıl içinde önemli ölçüde ilerlemiş ve gelişmiştir. Form punta yöntemi geleneksel yöntemlere göre daha yeni bir yöntemdir. Dolayısı ile bu yeni yöntemin diğer yöntemlerin yerine kullanılabilip kullanılamayacağı üzerine de değişik çalışmalar yapılmıştır (He 2009). Gronostajski and Polak (2009) ince alüminyum plakaların birleştirilmesinde nokta kaynaklı birleştirme ile form punta birleştirme yöntemlerinin birbirine göre üstünlüklerini incelemişlerdir. Deneylerdeki form punta birleştirmelerinde 8 mm ve 10 mm'lik takım çaplı dairesel formlu takımlar kullanmışlardır. Yaptıkları testler sonucunda otomobillerin bazı bölgelerinde form punta yönteminin kullanılabileceğini söylemişlerdir. Alüminyum alaşımlarını (AW5754) birleştirdikleri deneylerinde; nokta kaynağının ortalama kayma kuvvetini 6 kN, uzamayı ise 1,6 mm ve ortalama normal kuvveti 4 kN, uzamayı da ortalama 15 mm tespit etmişlerdir. Takım çapı 8 mm olan birleştirmenin kayma kuvveti 1,5 kN, uzaması 1 mm ve normal kuvveti 2,2 kN uzaması da 10 mm'dir. Çapı 10 mm olan takımda ise kayma kuvveti 2,6 kN, uzaması ise 1,25 mm ve normal kuvvetse 2,3 kN uzaması ise 8 mm olarak tespit etmişlerdir. Sonuçlarda da görüldüğü gibi form punta birleştirmelerinin yapısı nedeniyle nokta kaynaklı birleştirmeye göre daha düşük güce sahip olduklarını fakat ince cidarlı birleştirmelerde yüksek mukavemetin, enerji emilimi üzerinde önemli bir yan etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Dairesel şekilli takımlarla form punta yöntemiyle ve nokta kaynağı ile birleştirilen ince cidarlı malzemeler karşılaştırıldığında deformasyon sürecinde önemli farklılıklar tespit etmişlerdir. Sonuçta uygun form punta teknikleri seçildiğinde; ince cidarlı malzemelerin birleştirilmesinde form punta birleştirme yönteminin nokta kaynağının yerini alabilecek yeterlilikte olduğunu belirlemişlerdir (Gronostajski and Polak 2009).

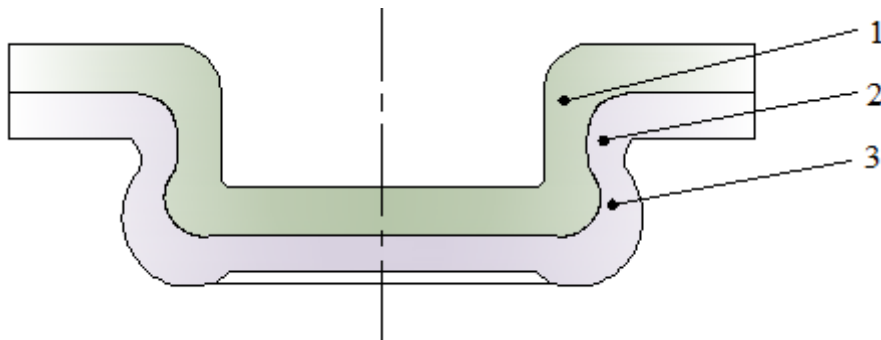
Form punta yöntemi bilinen yöntemlerle birleştirilmesi zor olan, farklı malzemelerin bağlantılarında da iyi sonuçlar vermektedir. Gibmeier vd. (2002) sac malzemelerin form punta yöntemiyle birleştirilmesini ve birleştirme sonucu oluşan karakteristik artık gerilmelerini form punta birleştirme tekniklerine göre incelemişlerdir. Birleştirme elemanlarında iki farklı malzeme kullanan Gibmier vd. (2002), ZStE340 yüksek alaşımlı çelik (sac kalınlığı 2 mm) ve AlMg5 alüminyum bazlı alaşım (sac kalınlığı 1,5 mm) kullanmıştır. İki firmaya ait olan takımlar ile (Şekil 2.5) form punta birleştirmeler

yapmışlardır. Bunlar; TOX Presso teknik GmbH, Walter Eckold GmbH'dir.



Şekil 2.5 Birleştirme kesitleri a) Tox Presso teknik GmbH b)WalterEckoldGmbH (Gibmeier et al. 2002).

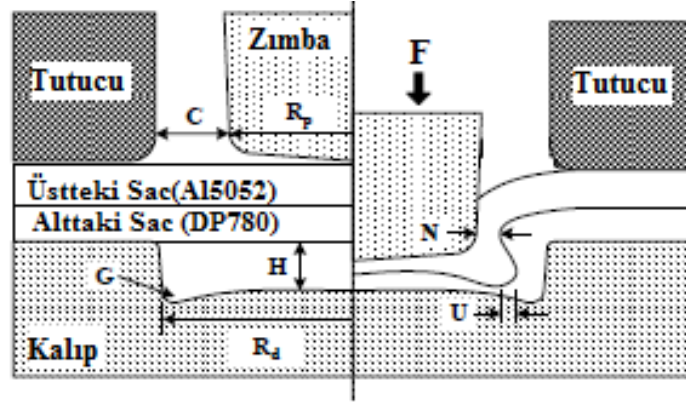
Hemen hemen benzer şartlarda yapılan deneylerde Tox tekniği ile yapılan birleştirmelerde biraz daha düşük basınçlı artık gerilmeler oluştuğunu ve her iki teknikte de Z (eksenel) yönündeki gerilmelerin neredeyse sıfır olduğu tespit edilmiştir. En yüksek artık gerilmenin aşağıdaki Şekil 2.6'da görülen 2. noktada olduğunu belirlemiştir. Zımbaya en yakın nokta 1. noktadır ve en fazla kalınlık düşmesinin olduğu bölge ise 2. noktadır diyen Gibmier vd. (2002) 3 numaralı nokta etrafında daha az artık gerilme tespit etmiştir. Bunun yanında farklı çaplarda birleştirme zımbası kullanmışlardır ve Eckold tekniğinde en fazla 4 mm çapına kadar birleştirme yapılabilirken Tox tekniğinde takım çapı 6 mm'ye kadar birleştirme yapılabilirdiğini belirlemişlerdir (Gibmier et al. 2002).



Şekil 2.6 Oluşan artık gerilme bölgeleri (Gibmier et al. 2002).

Form punta, hızla mekanik birleştirme tekniklerinin yeni bir dalı haline gelmiştir. Son yıllarda hafif yapı stratejileri ve çevreye dost olması açısından ve ekonomik nedenlerden dolayı daha da önemli bir hal almıştır. Büyük üretim sistemleri ile

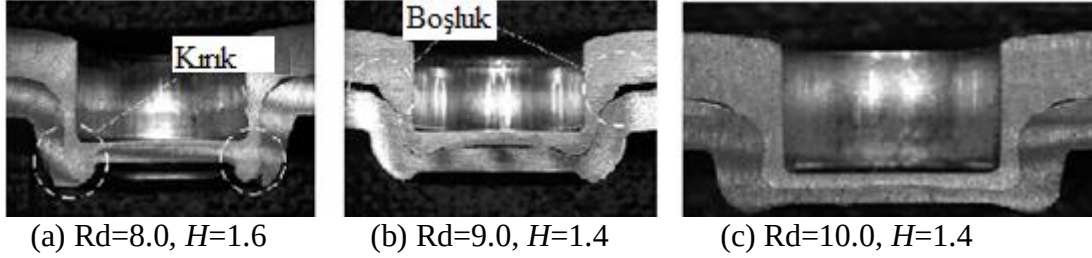
karşılaştırıldığında bile sistemin uygun ve güvenilir olduğu belirlenmiştir (He 2009). Lee vd. (2010a) alüminyum alaşımlı ve yüksek mukavemetli çelik levhaların birleştirilmesi için mekanik form punta yönteminin süreci üzerine parametrik bir çalışma yapmıştır. Form punta birleştirmelerinin güvenilirliğinin doğruluğunu ispatlamak amacıyla yaptığı çalışmasında, malzeme olarak Al5052 alaşımlı levha ve geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelik DP780 kullanmıştır. Sonlu Elemanlar Analizleri ile desteklenen çalışmada bu farklı iki malzemenin birleşebilirliğinde; kalıp yarıçapı (R_d), zımba yarıçapı (R_p), kalıp derinliği (H), kalıp boşluğu (C) ve kalıp formunun (G) sonuçlara etkisini araştırmıştır. Bunlara ek olarak; kenetlenme uzunluğu (U) ve boyun verme kalınlığının (N) öneminden de bahsetmiştir. Şekil 2.7’de Form punta ile birleştirilmiş malzeme kesiti görülmektedir.



Şekil 2.7 Form punta ile birleştirilmiş malzeme kesiti (Lee vd. 2010a).

Zımba yarıçapı (R_p) olarak beş farklı değer, kalıp yarıçapı (R_d) olarak üç farklı değer, kalıp derinliği (H) olarak da beş farklı ölçü kullanarak çalışmalarını yapmışlardır. Kalınlık olarak ise; Al5052’de 2 mm ve DP780’de 1,6 mm kullanmıştır. Birleştirmelerin dayanımını tespit için gerilim testleri yapılmıştır. Kalıp boşluğu, kalıp formu ve kalıp derinliğinin değişimine göre boyun verme kalınlığı ile kenetlenme uzunluğunun değişimini incelemiştir. Kalıp formlarında; kalıp boşluğunun derinliği ile koniklik açısı dikkate alınarak dört farklı kalıp formu sonuçlarını inceleyerek koniklik açısının 40° olduğunda en iyi sonuçları elde etmiştir. Bunun yanında diğer sonuçlara da bakacak olursak, $R_d=8$ mm ve $H=1,6$ mm’de alttaki sacda çatlak oluşmuştur (Şekil 2.8). R_d artıp H azalınca alt levhadaki çatlak önlenmiştir. $R_d=9$ mm ve $R_d=10$ mm’de çatlak oluşmamıştır ancak $R_d=9$ mm’de alt ve üst sac ara yüzleri arasında boşluk oluşmuştur (Şekil 2.41). Eğer alt ve üst sac arasında boşluk oluşursa ve bu boşluğa su nüfuz ederse

korozyon oluşmaktadır tabi buda istenmeyen bir durumdur. $Rd=10$ mm'de ise hem çatlaksız hem de boşluksuz bir birleşme gerçekleşmiştir fakat kenetlenme uzunluğu $Rd=9$ mm'ye göre daha düşüktür.

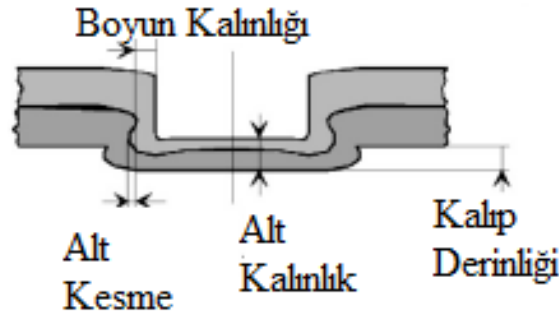


Şekil 2.8 Kalıp derinliği (H) ve kalıp yarıçapının (Rd) farklı koşullar altında yapılan deneylerdeki birleşmelerin kesit görünüşleri (Lee et al. 2010a).

Sonuç olarak Lee vd. (2010a) mekanik form punta yönteminde sacların birleşebilirliğine, işlem parametrelerinin etkileri sonlu elemanlar analizi ve çekme testi kullanılarak değerlendirmişler, en önemli parametrenin kalıp yarıçapı olduğu ve en iyi birleştirme gücünün $Rd=9$ mm'de elde edildiğini belirlemişlerdir. Aynı zamanda kalıp derinliğini artırarak kenetlenme uzunluğunun da artırabileceğini fakat çatlaklara neden olacağını ve kalıp çapının artmasıyla da boyun verme kalınlığının artırılabilirliğini belirlemişlerdir. Son olarak büyük takım çaplarında ise iki sacın kenetlenmesinin zorluğuna değinmişlerdir (Lee et al. 2010a).

Otomobillerde ağırlığı azaltmak için alüminyum gibi hafif malzemelerin kullanımı artmıştır. Fakat alüminyum malzemenin yüksek termal iletkenlik ve yüzey oksit tabakasından dolayı kaynak tekniği ile birleştirilmesi zordur. Otomobillerde kullanılan diğer bir malzeme ise yüksek mukavemetli çeliklerdir (Lee et al. 2010b). Abe vd. (2012) bu iki malzemeyi birleştirmek için, kalıp şekillerini optimize ederek sacların akışını incelemişlerdir. Değişik kalıp derinliklerinde değişik kalıp çapları ile düz ve açılı kalıp boşluklarını değerlendirmişlerdir. Üstteki yüksek mukavemetli sacın deformasyon konsantrasyonu etrafında oluşan çatlak oluşumunun kalıp derinliğinin azaltılarak önlenebileceğini savunmuşlardır. Alt ve üst sac arasındaki bağlantı miktarını arttırmak için kalıp derinliğini ve çapını optimize etmişlerdir.

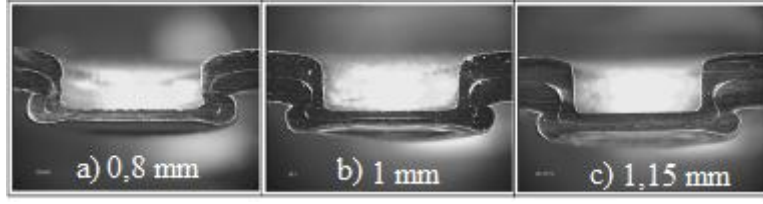
Tan vd. (2005)'de yaptığı çalışmasında değişik parametrelere göre alt kalınlık (Şekil 2.9) değerlerini incelemiştir. İki farklı malzemeye (H340 ve DC04) göre yaptığı değerlendirmeler sonucunda çekme dayanımı yüksek olan malzemenin şekillenebilmesi için daha yüksek kuvvete ihtiyaç olduğunu söylemişlerdir. Çekme dayanımı yüksek olan malzemenin (H340) alt kalınlığının da yüksek olduğunu göstermişlerdir. Fakat alt kalınlığın çok yüksek olması ya da çok düşük olması çok istenen bir durum değildir diyen Tan vd. (2005) Şekil 2.10'daki kesit görünüşlerde de görüldüğü gibi çekme dayanımı düşük olan malzemenin (DC04) yaptığı birleştirmenin daha iyi olduğunu göstermiştir. Kalınlıklara göre yaptığı karşılaştırmalarda 0,8 mm, 1 mm ve 1,15 mm olmak üzere üç farklı kalınlık kullanmışlardır. Bu üç farklı kalınlıkta en iyi birleştirmenin 1 mm ile yapılan bağlantıda olduğunu belirlemişlerdir (Şekil 2.11). 3 farklı kalıp derinliği kullanarak yaptığı birleştirmelerde alt kalınlığın çok yüksek olması veya çok düşük olmasının bağlantıyı nasıl etkilediği Şekil 2.12'de görülmektedir. Bağlantıların çekme kuvvetlerini de değerlendiren Tan vd. (2005), en kısa kalıp derinliğinde çekme kuvvetini 2,52 kN, en büyük kalıp derinliğinde 1,76 kN ve orta derinlikte ise 2,85 kN olarak ölçmüşlerdir.



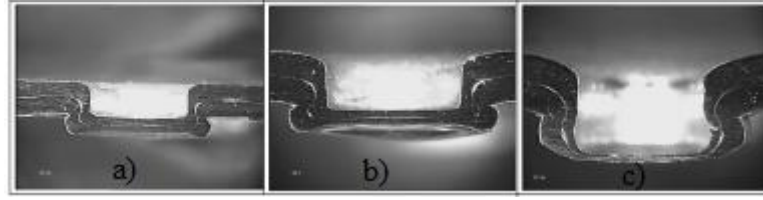
Şekil 2.9 Form punta yöntemiyle birleştirilmiş parça kesiti (Tan et al. 2005).



Şekil 2.10 Farklı malzemelerin yaptığı bağlantıların kesit görünüşü (Tan et al. 2005).

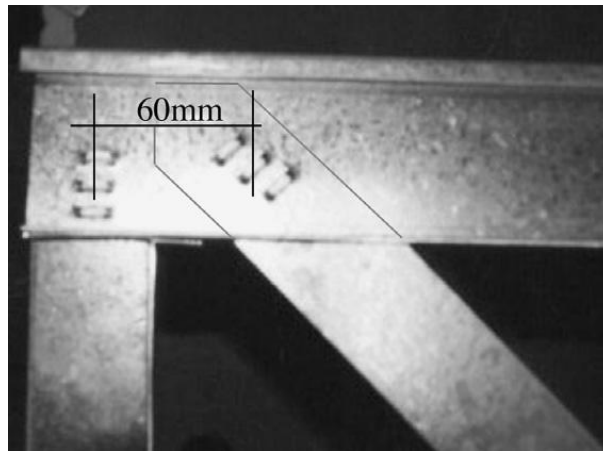


Şekil 2.11 Farklı kalınlıklardaki plakalarla yapılan bağlantıların kesit görünüşü (Tan et al. 2005).



Şekil 2.12 Farklı kalıp derinlikleriyle yapılan bağlantıların kesit görünüşleri (Tan et al. 2005).

Pedreschi ve Sinha (2008) yaptıkları bir çalışmada, form punta yöntemiyle birleştirilmiş soğuk şekillendirilmeye uygun galvanizli çelik profillerden oluşturulmuş kafes yapılarının farklı bağlantı konfigürasyonlarındaki yapısal davranışını incelemişlerdir. Birbirinden farklı şekillerde ve sayılarda ele alınan 10 farklı kombinasyon için oluşturulan yapıların statik yük altında yapısal davranışını test etmişlerdir. Dikdörtgen formlu takım kullanılarak üç farklı açıda (0° , 45° ve 90°) birleştirme gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.13). Yaptıkları analizlerle bağlantı sayısının yapının mukavemeti ve deformasyonu üzerinde etkisi olduğunun sonucuna varmışlardır. 1,2 mm kalınlığında üç sacın birleştirilmesinde beklenenden daha kötü bir sonuç tespit etmişlerdir. İki sacın birleştirilmesinde ise daha iyi bir sonuç elde etmişlerdir.



Şekil 2.13 Kafes sistemlerinde 0° ve 45° açılarla dikdörtgen formlu bağlantı kullanımı (Pedreschi ve Sinha 2008).

2.1 Sac Birleştirme Yöntemleri

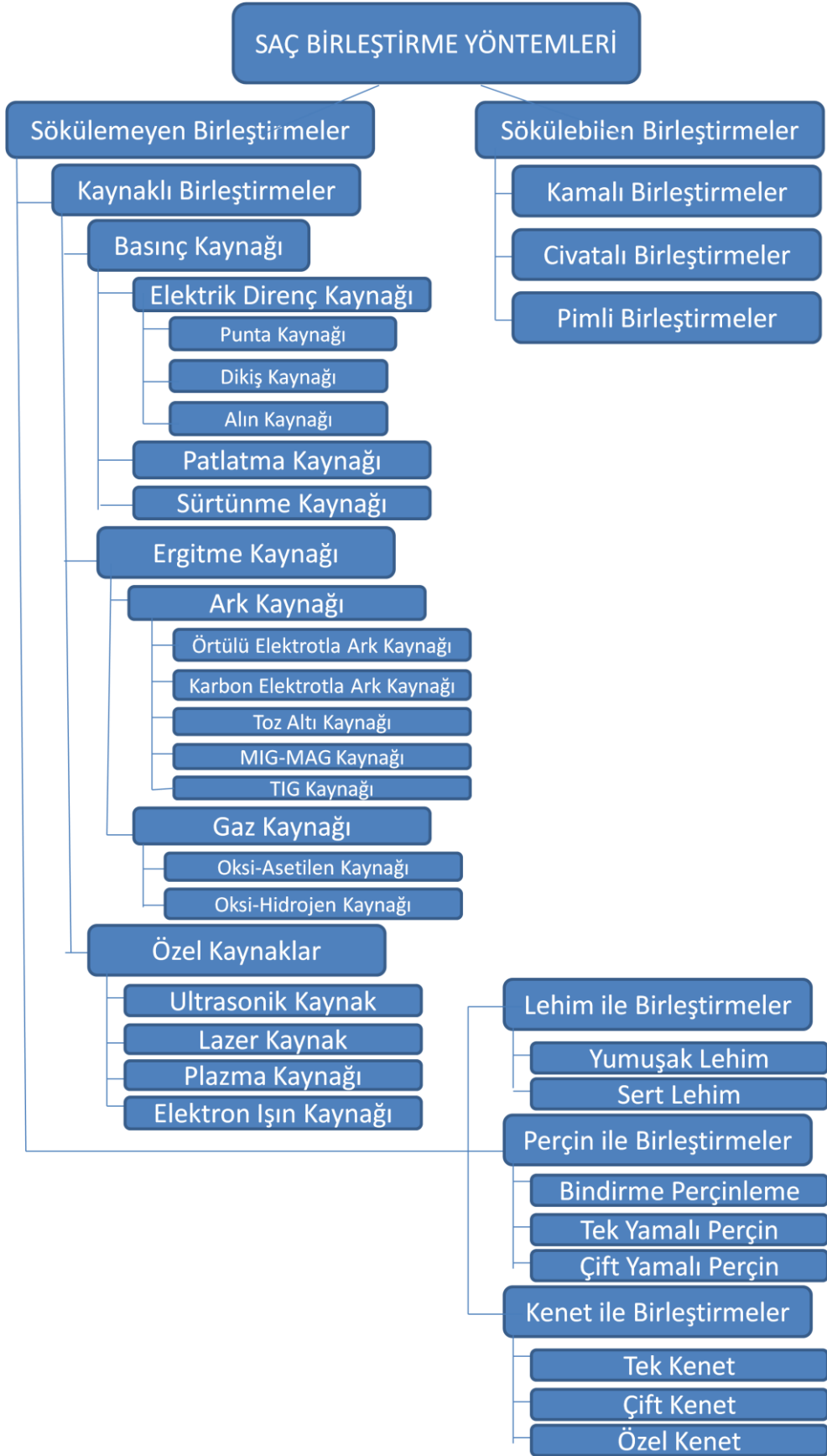
Endüstride takım ve tezgâhların çok sayıda parçadan bir bütün oluşturduğu düşünüldüğünde, bu parçaların birleştirme elemanları yardımıyla bir araya getirilmeleri gerektiği bilinmektedir. Bu durumda bu parçaların özelliklerine göre sökülebilen ya da sökülemeyen birleştirme elemanlarıyla birleştirilmeleri gerekmektedir. Teknikte birleştirme işlemlerinin yapılmadığı hiçbir kol düşünülemez.

Birden fazla sac ve benzeri metal parçaların birbirinden ayrılmayacak şekilde birleştirilmelerine sökülemeyen birleştirme, makine parçalarının sökülebilir şekilde ve her sökölüp takılmaları sonucu aynı konumda birleştirilmelerini sağlayan yonteme de sökülebilen birleştirme yöntemleri denir (Özçilingir ve Şen 2002).

Kaynaklı birleştirmeler otomotiv endüstrisinden beyaz eşya sektörüne, gemi uygulamalarından kalorifer sistemlerine kadar en çok kullanılan sökülemeyen bağlantı yöntemidir (Şekil 2.14-a). Cıvata ve somunla yapılan bağlantılar ise en çok kullanılan sökülebilir bağlantı şeklidir (Şekil 2.14-b). Sökülebilir ve sökülemeyen bağlantıların birçok çeşidi vardır. Bunlar aşağıdaki Şekil 2.15'de görülmektedir. Bu tez kapsamında sadece otomotiv endüstrisinde kullanılan ince sacların birleştirilmesinde kullanılan sac birleştirme yöntemlerine değinilecektir.



Şekil 2.14 a) Cıvata ve somun b) Sökülemeyen kaynaklı bir birleştirme (İnt.Kyn.2).



Şekil 2.15 Sökülebilen ve sökülemeyen bağlantı türleri.

2.1.1 Kaynaklı Birleştirme

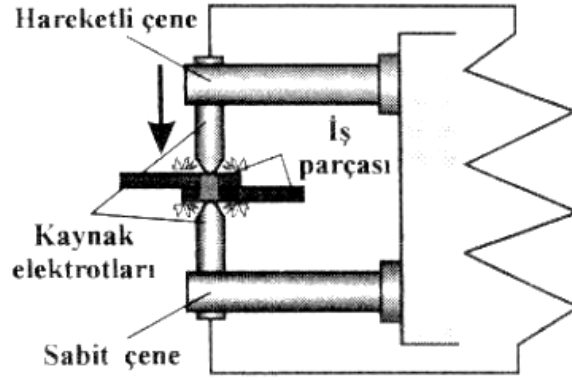
Aynı metalin veya birbirine yakın özellikte aynı alaşımların ısı etkisi veya ısıyla beraber basınç altında birleştirilmesine kaynak denir. Söz konusu iki parçanın birleştirilmesinde, ilave bir gereç kullanılıyorsa bu gerece ilave metal ya da ek kaynak teli adı verilir. Hemen hemen bütün endüstride yaygın olarak kullanılır ve otomotiv onarımında vazgeçilmez bir birleştirme şeklidir (Eryürek 1995). Günümüzde sökülemeyen birleştirmelerin büyük çoğunluğu kaynak kullanılarak yapılmaktadır. Basınçlı tank imalatı, çelik yapı, makine imalatı, demir doğrama işleri, boru tesisatı ve boru üretiminde yaygın olarak kullanılır (Ay ve Demircioğlu 2009). Ana özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- ✓ Gaz ve su sızdırmazlığı mükemmeldir.
- ✓ Kaynaklı bağlantı uzun ömürlüdür.
- ✓ Çok fazla ısı kullanılırsa parçada çarpılma meydana gelir.
- ✓ Kaynak bağlantılarının şekli sınırsızdır
- ✓ Kaynaklı bağlantının dayanımı yüksektir (Eryürek 1995).

Kaynakla birleştirmelerin birçok çeşidi vardır. Bunlardan otomotiv endüstrisinde kullanılanlarından aşağıda kısaca bahsedilmiştir.

2.1.1.1 Punta Kaynağı

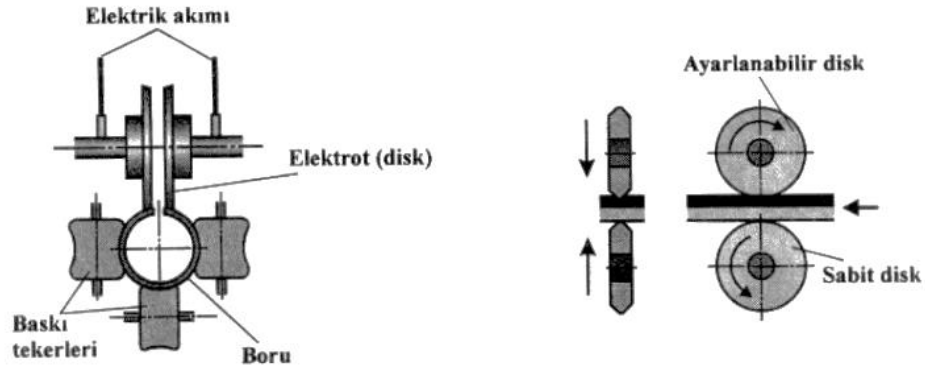
Punta (nokta) kaynağı, imalat sektöründe oldukça yaygın olarak kullanılan bir kaynak yöntemidir. Özellikle otomotiv ve beyaz eşya sektöründe imalatın en önemli aşamalarını bu kaynak yöntemi oluşturmaktadır. Uçak ve hafif yapı konstrüksiyonlarda seri imalatla çok yaygın olarak kullanılır. Transformatörün uçları arasına bağlanmış iki bakır çubuk elektrot arasında, kuvvet altında ve elektrik akımının sağladığı ısı etkisiyle parçalar birbirlerine nokta şeklinde kaynak edilmiş olur. Elektrotlar mekanik, hidrolik ve pnömatik olarak bastırılarak sacların birbirlerine iyi bir şekilde teması sağlanır. Bu tip bağlantılar, işletme sırasında statik ve dinamik yükler altında zorlanmaktadır. (Akkuş 2007, İnt.Kyn.1). Şekil 2.16'da punta kaynağının şematik hali görülmektedir.



Şekil 2.16 Punta kaynağı şematik görünümü (Ay ve Demircioğlu 2009).

2.1.1.2 Dikiş kaynağı

Sac konstrüksiyonlarda kaynak bağlantısında sızdırmazlık gerekiyorsa, dikiş kaynağı kullanılır. Mesela depo ve yakıt tanklarının konstrüksiyonunda sac parçalar su ile soğutulan yuvarlak makara şeklindeki elektrotlar arasından geçirilerek sürekli kaynak dikişi yapılması sağlanır (İnt.Kyn.1). Şekil 2.17'de dikiş kaynağının uygulaması görülmektedir.



Şekil 2.17 Dikiş kaynağı uygulaması şekli (Ay ve Demircioğlu 2009).

2.1.2 Lehim

Metallerin kullanıldığı tüm endüstri dallarında, üretimi yapılan gereçlerin çeşitli teknikler kullanılarak birleştirilme ihtiyacı vardır. Bu ihtiyacı karşılamak amacıyla yaygın olarak mekanik birleştirmeler, yapıştırma yöntemleri, kaynaklı birleştirmeler ve

lehimleme yöntemleri kullanılır. Lehimleme ısıyla malzemelerin birleştirilmesi işlemlerinin en eskisidir. Yaklaşık M.Ö. 2500'den beri bronz ve bakır malzemelerin birleştirilmesinde kullanılmaktadır. Lehimin erime sıcaklığı her zaman birleştirilecek malzemenin erime sıcaklığının altındadır. Malzeme erimeden lehim pastasıyla ısıtılarak birleştirilir. Ekonomik ve uygun lehimleme için aşağıdaki şartlar gereklidir (ANONİM 2011).

- ✓ Parçalar lehimlemeye göre hazırlanmalıdır.
- ✓ Uygun lehimin kullanılması gerekir.
- ✓ Lehim pastasının etkisi ısıtılma sırasında gözlenmelidir.
- ✓ Parçalar lehimlemeye uygun olarak ısıtılmalıdır.

En yaygın lehimleme uygulaması baskı devrelerdeki, elektronik bileşenlerin montajıdır. Sıhhi tesisat sistemlerindeki bakır boruların bağlanmasında da kullanılan bir tekniktir. Konserve tenekeleri gibi sac metallerdeki bağlantılar, çatı izolasyonu ve yağmur dereleme olukları ve araba radyatörleri de geçmişte geleneksel olarak lehimlendiği gibi günümüzde de kısmen lehimlenmektedir. Mücevher parçalarının bağlanması ve tamirinde, küçük mekanik parçaların tutturulmasında da genellikle lehimleme tekniği kullanılır. Cam vitray yapımı da bu tekniğin bir başka uygulama alanıdır (İnt.Kyn.5). Çalışma sıcaklığına göre iki çeşit lehimleme türü vardır.

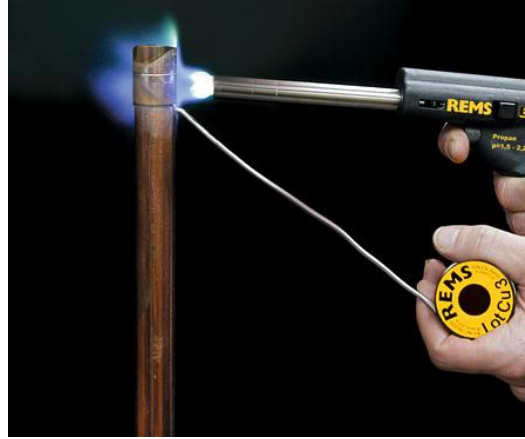
2.1.2.1 Yumuşak Lehim

450°C'nin altında yapılan lehimleme işlemine yumuşak lehimleme denir. Yumuşak lehimleme işleminde genellikle kurşun–kalay alaşımı lehim telleri kullanılır. Lehimleme telleri hazır olarak satın alındığı gibi atölye ortamında da üretilebilir. Kalay–kurşun alaşımının kullanılmasının sebebi; bu alaşımın düşük sıcaklıklarda ergiyik, iyi akışkanlık özelliği göstermesidir (Serfiçeli 1997).

2.1.2.2 Sert Lehim

Aynı cins veya farklı cins metalleri; bir ısı kaynağı altında eritmeden, 450°C üzerinde sıcaklıklarda ergiyen ilave bir metal (lehim alaşımı) kullanılarak yapılan lehimlemedir.

Ergiyen ilave metalin birleştirme aralığına yayılarak ısıtmasıyla ve birleştirilecek metallerle ilave metal arasında metalürjik bir bağ oluşmasıyla meydana gelen birleştirmedir. Sert lehimleme işleminde, birleştirilecek metaller ile ilave metal arasındaki metalürjik bağın oluşumu, difüzyon adını verdiğimiz atomların transferi ile gerçekleşir. Bu bağın güçlü olabilmesi için transferi kolaylaştıracak ve birleşim bölgesini istenmeyen unsurlardan uzaklaştıracak koruyucu dekapanlar kullanılır (Uzun 2002). Lehim yönteminin uygulanışı Şekil 2.18'de görülmektedir.



Şekil 2.18 Lehimleme yönteminin uygulanışı (İnt.Kyn.5).

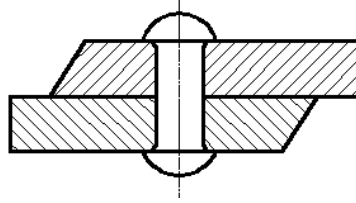
Günümüzde endüstrinin birçok alanında yaygın olarak sert lehimleme ile birleştirme tekniğine rastlanır. Otomotiv sektöründe, uçak endüstrisinde, uzay sanayisinde, nükleer sanayi uygulamalarında, beyaz eşya üretiminde, makine, havalandırma ve ısıtma sektörlerinde, kesici takımların üretiminde, armatür imalatında, tesisat işlerinde, gıda sektöründe, tıbbi cihazların imalatında, müzik aletlerinin imalatı gibi daha pek çok alanda sert lehimleme yöntemi kullanılmaktadır (Uzun 2002). Sert lehim yöntemiyle birleştirilmiş bazı örnekler Şekil 2.19'da görülmektedir.



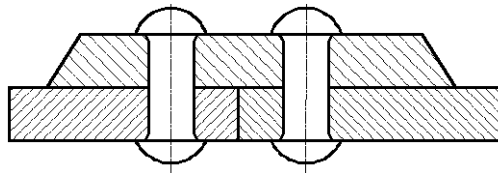
Şekil 2.19 Sert lehimleme yöntemi kullanılarak birleştirilmiş endüstriyel malzemelere örnekler (İnt.Kyn.5).

2.1.3 Perçin

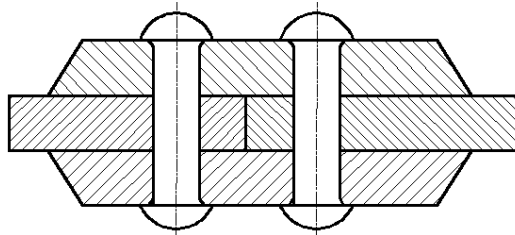
En az iki parçayı sökülemeyecek şekilde birleştirmek için kullanılan ve bir ucu hazır diğer ucu ise birleştirme sırasında oluşturulan makine elamanlarına perçin denir. Parçaların bu elemanlar kullanılarak sökülmez şekilde birleştirilmesi işlemine perçinleme denir. Perçinlemenin amacı, diğer sökülemeyen birleştirme türlerine göre daha üstün nitelikli bağlantılar oluşturmaktır. Perçinli bağlantılar, ek yerlerindeki sağlamlığı ve farklı cins malzemeleri birleştirebilme özelliklerinden dolayı kazanlarda, elektronik cihazlarda, giyim eşyasında, mutfak eşyalarında, çelik tasarım inşaatlarında, deri kayışların perçinlenmesinde, uçak sanayinde ve lokomotif yapımında kullanılır. En önemli avantajları; sızdırmazlık sağlamaları ve farklı malzemelerin birleştirilmesinde kullanılabilmesidir. Fakat deliklerin parçaları zayıflatması ve ağırlık gibi dezavantajları da vardır. Bindirme, tek yamalı ve çift yamalı perçinleme olarak üç çeşidi vardır. Bunlar Şekil 2.20, 2.21 ve 2.22'de şematik olarak görülmektedir (Özçilingir ve Şen 2004).



Şekil 2.20 Bindirme perçinleme (Özçilingir ve Şen 2004).



Şekil 2.21 Tek yamalı perçinleme (Özçilingir ve Şen 2004).



Şekil 2.22 İki yamalı perçinleme (Özçilingir ve Şen 2004).

2.1.4 Kenetleme

Kenetli birleştirme sızdırmazlık istenen ince sac ve benzeri malzemelerden yapılan iş parçalarının ek yerlerinin birleştirilmesinde kullanılan yöntemlerden biridir. Sac ve benzeri metallerin ek yerlerinin el ile ya da makinede katlanarak birleştirilmesi işlemine kenetleme denir. Özellikle ince kalınlıklardaki iş parçaları kenetli olarak birleştirilir. Kenet eki kullanılarak bağlantıları yapılmış soba boruları Şekil 2.23'de görülmektedir.



Şekil 2.23 Kenet eki kullanılarak yapılmış soba boruları (İnt.Kyn.4).

Sac gereçlerin kenarları 180° bükülüp birbiri üzerine bindirilirse katlanmış olur. Kenetleme işleminde, katlanan iş parçaları arasında gereç kalınlığı kadar boşluk bırakılır. Bir iş parçasının iki ucunu katlayıp kenarlarının birbirine sımsıkı geçmesi sağlanırsa kenetli birleştirme meydana gelir.

Makine ve iş parçalarının birleştirilmesinde kullanılan birleştirme yerlerinden biriside kenetli birleştirmedir. İnce saclar, krom nikelli sac (paslanmaz sac), galvanizli sac, çinko ve benzeri saclar kenetli birleştirmeye uygun malzemelerdir. Kenetli birleştirmeler, boru dirseklerinin bükümünde, havalandırma bacalarında, bu bacaların köşeli bükümlerinde, konserve kutularında, mangal, ibrik, soba, sıcak su kazanı, silindir

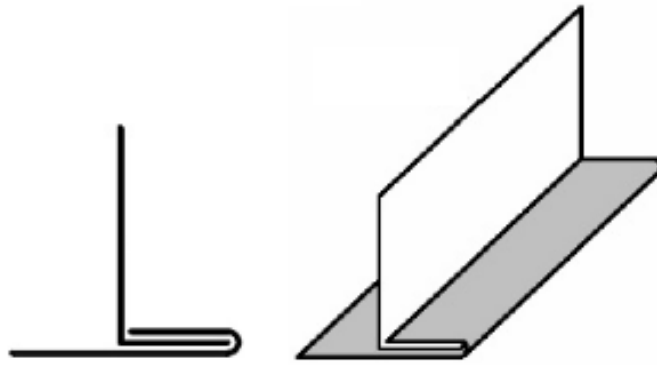
ve benzeri alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Kenetli birleştirmenin kullanıldığı yerler ile ilgili bazı rnekler Şekil 2.24'de görülmektedir (Serfiçeli 2004).



Şekil 2.24 Kenetli birleştirme ile imal edilmiş parça rnekleri (İnt.Kyn.4).

Kenetleme çeşitlerini, kenet yapılacak Őekle göre çeşitlendirilir. Bunlar; tek kenet, çift kenet, özel kenetlerdir.

Tek Kenetleme; sac türü malzemelerin düz birleştirilmesinde en çok kullanılan kenet türüdür. Birleştirilecek kenarlardan biri 180° katlanıp diğer kenar 90° bükülerek birbirinin içine geçirilip sıkılmasıyla oluşturulan kenetleme biçimidir (Şekil 2.25). Kenetler elde, kenet makinesinde veya özel geliştirilen otomatik kenet makinelerinde yapılır.



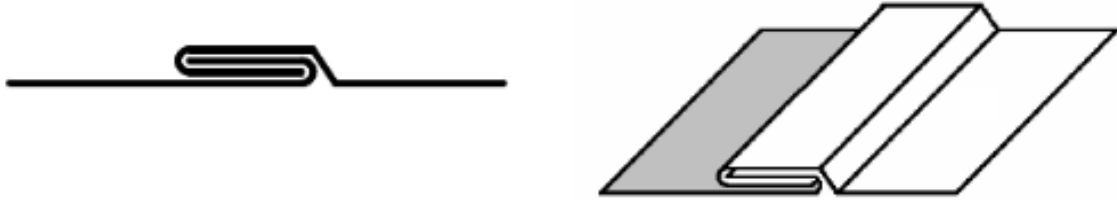
Şekil 2.25 Tek kenetleme (İnt.Kyn.3).

Çift Kenetleme; kenar birleştirmelerinde tek kenedin yeterli olmadığı durumlarda kenet yerinin çift katlanarak yapılan işlemdir. Kenet yerlerinin i içe geçirilerek 180° bükülüp sıkılmasıyla yapılır (Şekil 2.26).



Şekil 2.26 Çift kenetleme (İnt.Kyn.3).

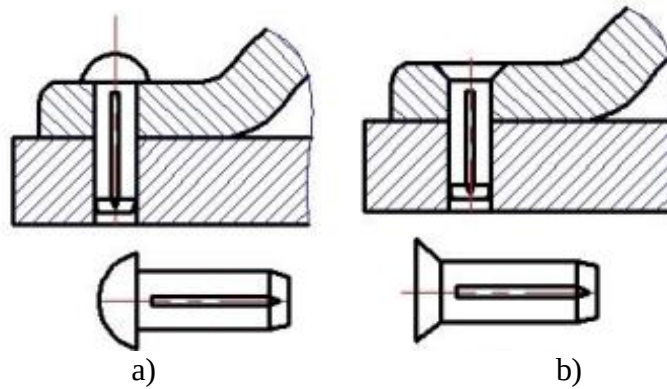
Özel Kenetleme; sac, çinko, galvanizli sac ve benzeri metallere yapılan havalandırma bacalarının dirsek bükümü ve birleştirme yerlerinin kenetleme metodu ile yapılması gerekebilir. İşte bu gibi yerlerde yapılan kenetleme işlemi özel bir kenetleme işlemidir (Şekil 2.27) (Serfiçeli 2004).



Şekil 2.27 Özel kenetleme (İnt.Kyn.3).

2.1.5 Pimli Birleştirmeler

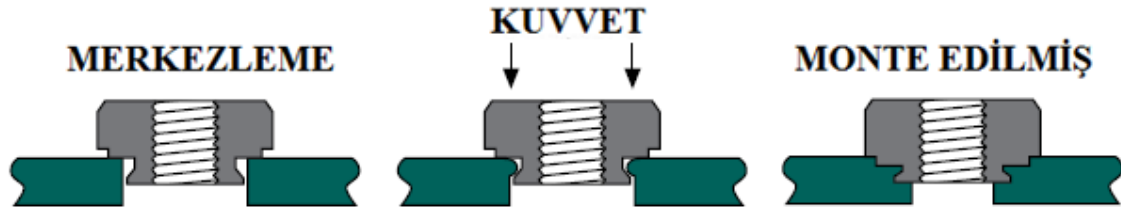
Makine parçalarının karşılıklı durumlarını tespit ederek parçaları hareketsiz fakat sökülebilir ve şekilde birleştirilen silindirik veya konik makine elemanlarına pim denir. Pimler sökülebilir birleştirme elemanlarıdır. Ancak cıvatalar gibi bağlama amacıyla kullanılmaz. Sökülen makine parçalarının tekrar aynı konumda bağlanmalarını sağlamak için merkezleme veya alıştırma pimi olarak kullanılır (Özçilingir ve Şen 2004). Pimler baş şekillerine göre farklı türlerde üretilirler. Şekil 2.28'te de silindirik düz havşa başlı kертikli ve silindirik düz yuvarlak başlı kертikli pim görülmektedir.



Şekil 2.28 a) Silindirik düz yuvarlak başlı kертikli pim **b)** Silindirik düz havşa başlı kертikli pim.

2.1.6 Delikli Form Punta (Self-Clinching) Yöntemiyle Birleştirme

Genel olarak delikli form punta kavramı somun, saplama, vida ve bir karşı kuvvetten oluşur. Bir levha üzerinde kesilerek açılmış deliklere basılırlar. Bir ürünün parçalarının ihtiyaç halinde, sökülebilecek ve tekrar aynı konumda birleşecek şekilde montajının yapılmasını sağlayan birleştirme elemanlarıdır. Delikli form punta yönteminde kullanılan çok çeşitli saplama ve somun çeşitleri vardır (Şekil 2.17). Bu yöntem otomotiv sektöründe kullanılan sac malzemeler ve yardımcı aksesuarların montajında büyük rol üstlenmektedir. Yöntemin işlem basamağı Şekil 2.30'da görülmektedir.



Şekil 2.29 Delikli form punta işlem basamağı (İnt.Kyn. 7).

Delikli form punta yönteminin avantajları

- ✓ 0,5 mm'den ince sac metallerde dayanım noktası yüksektir.
- ✓ Sacın birleştirme derinliği isteğe göre azaltılabilir.
- ✓ Önemli derecede malzeme tasarrufu vardır.
- ✓ Saca delik delindikten sonra herhangi bir işleme gerek yoktur.
- ✓ Montaj işlemi basit, hızlı, güvenlidir ve yüksek hassasiyettedir.
- ✓ Üretim döngüsü kısadır.
- ✓ Sac yüzeyi zarar görmeden, yüzey işlemleriyle birlikte kullanılabilir.
- ✓ Levha üzerinde yapılan birleştirmede kullanılan bağlantı elemanının yamulma ve kayma riski yoktur.
- ✓ Sacın diğer yüzeyi hasar görmez.
- ✓ Ekstra vida dişine gerek yoktur.
- ✓ Vida ile birleştirmeden çok daha yüksek kalitededir.
- ✓ Demir dışı metallerde bile iyi dayanım sağlar.
- ✓ Preslenen parçalar arasında elektrik iletkenliği iyidir.
- ✓ Bu teknoloji aynı zamanda yeni üretim teknolojileri ve uygulamaları da sunar.



Şekil 2.30 Delikli form punta saplama ve vida örnekleri (İnt.Kyn.7).

Delikli form punta yönteminin kullanım alanları

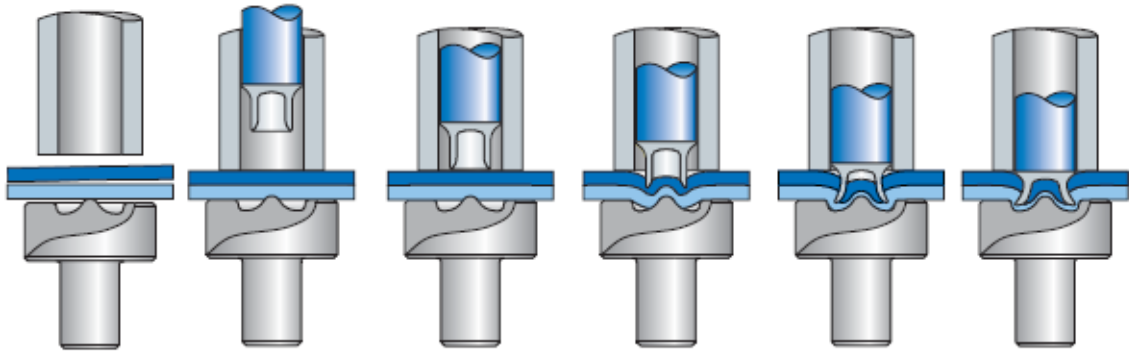
- ✓ Aydınlatma mühendisliği (Sac ve çelik kısımlardan yapılan ürünlerin imalatında)
- ✓ Tıbbi ekipman, havacılık teknolojisi ve otomobil üretimi
- ✓ Yüksek gerilim elektrik mühendisliği (Santrallerin üretimi)
- ✓ Düşük gerilim elektrik mühendisliği (TV takımlarının üretimi, devre kartlarının sabitlenmesi) (İnt.Kyn.7, İnt.Kyn.8).

2.1.7 Perçinli Form Punta (Self-Piercing) Yöntemiyle Birleştirme

Tek adımda özel şekilli perçinlerin üstteki saclarda delik açarak ilerlemesi ve alt katmandaki saca kilitlenmesi ile oluşur. Alüminyum, çelik, plastik, kompozit, magnezyum veya bu malzemelerin kombinasyonlarının birleştirilmesinde kullanılabilen bir yöntemdir. Bu yöntem kaliteli ve verimli birleştirmeler sağlar. İşlem akışı Şekil 2.31'de görülmektedir (İnt.Kyn.12). Başlıca özellikleri şunlardır:

- ✓ Yüksek dayanıma sahiptir.
- ✓ Önceden delik delme işlemine gerek yoktur.
- ✓ Birleştirme incelenebilir.
- ✓ Su ve hava geçirmez
- ✓ Metal ve ametal malzemelerin birleştirilmesinde kullanılabilir.
- ✓ Değişik malzeme kalınlıklarının birleştirilmesi için uygundur.

- ✓ Malzeme üzerinde hiçbir termal etki oluşmaz.
- ✓ Otomatik veya manuel olarak çalışılabilir.
- ✓ Duman gibi çevreye zarar veren herhangi bir şey yoktur.
- ✓ Gürültü seviyesi çok düşüktür.
- ✓ İki ve daha fazla sayıdaki malzemenin birleştirilmesinde kullanılabilir (Şekil 2.32).
- ✓ Enerji tasarrufu sağlar.



Şekil 2.31 Perçinli form punta yönteminde işlem akışı (İnt.Kyn.12).



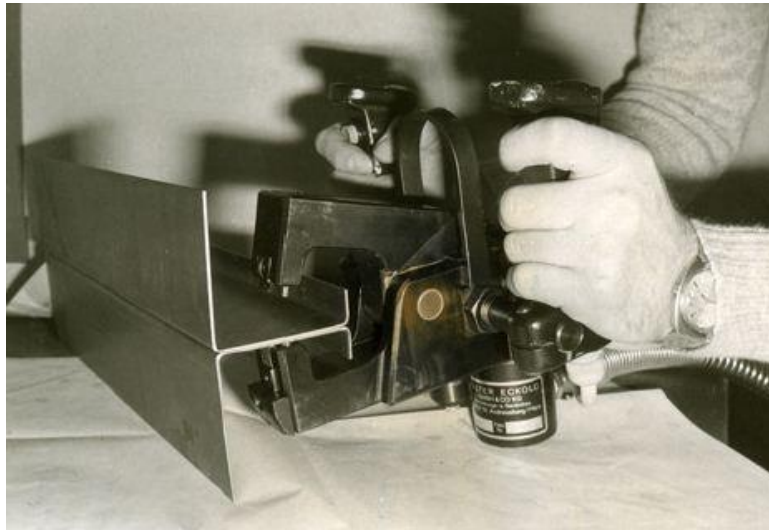
Şekil 2.32 a) Plastik-alüminyum iki katmanlı birleştirme b) Alüminyum-çelik-alüminyum üç katmanlı birleştirme (İnt.Kyn.12).

2.1.8 Form Punta Yöntemi

Form punta yöntemi; perçin, vida ve diğer bağlantı elemanları olmadan sac levhaları lokal bölgede meydana getirilen bir deformasyonla birleştirme yöntemidir. 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, ısılmaksızın soğuk şekillendirilebilme özellikleri sayesinde birbiri içerisinde kenetlenilecek bir form oluşturur. Kaplanmış sac malzeme veya galvanizli malzemelerin yanı sıra çelik,

alüminyum ve magnezyum birleştirilmelerinde mükemmel sonuç vermektedir. Tarihte, form punta ilk olarak otomotiv sektörü ve cihaz yapımında uygulanmıştır. İlk olarak 1981 yılında Almanya’da Eckold firması soğuk birleştirme üzerine çalışmalar yapmış ve bunun sonucunda ilk form punta birleştirme pensesini geniş bir kitleye tanıtmıştır (Şekil 2.33). Bu birleştirme metodu kolay şekillendirilebilirliği 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.

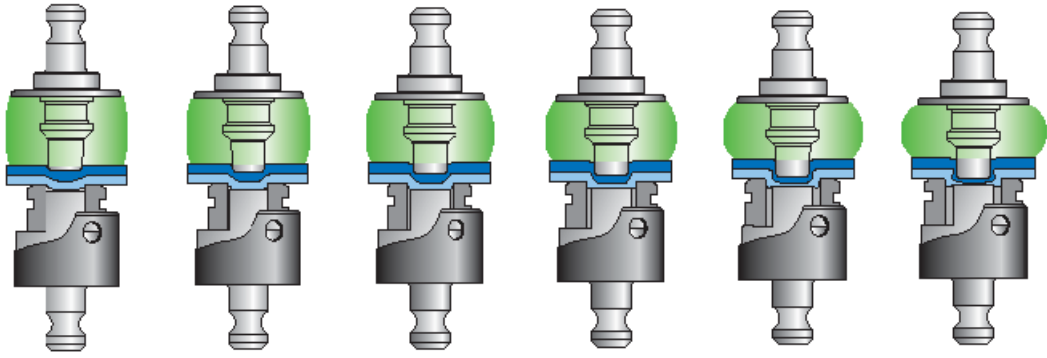
Geçmişteki basit yapıyla el ile olan uygulamalar halen kullanılmasına rağmen, robot kollarına bağlanarak otomasyona da uygun hale getirilmişlerdir. Bunun yanı sıra değişik uygulamalar için tasarlanmış form punta tekniği uygulamaları vardır. Örneğin, özel sac kalıpları, özel montaj masası, form punta presi vb. (Çetkin 2010, İnt.Kyn.9).



Şekil 2.33 1982 yılında üretilen ilk form punta pensesi (Çetkin 2010).

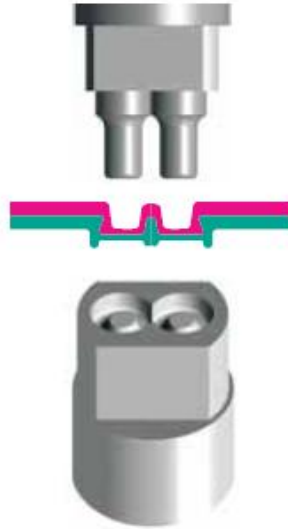
Form punta birleştirme işleminde malzemeler, zımba tarafından ilk kuvvet etkisi ile matris içerisinde birleşeceklerdir. Matriste bulunan çoğu malzeme bu esnada zımbanın zorlamasıyla yatay olarak aşağıya doğru akacaktır. Bu nedenlerle hareketli matris kesitleri dışa doğru ilerleyecek ve malzemelerin düğme formuna akmasına izin verilecektir. Zımba sonra ya operatörün veya pnömatik zamanlamacının geri çekme kuvveti ile başlangıç noktasına hareket edecektir. Birleşmiş parçalar artık çıkartılabilir ve matrisin yan kısımları yay kuvveti ile geri çekilir (Çekiç 2007). Form punta yönteminin işlem akışı Şekil 2.34’de

görülmektedir.



Şekil 2.34 Form punta işleminde işlem akışı (İnt.Kyn.10).

Form punta sistemlerde dayanımı arttırmak ve parçaların dönmesini engellemek için Tox firması tarafından TOX-TWIN point sistemi geliştirilmiştir (Şekil 2.35). Daha fazla güç ile çalışan bu sistem tekli birleştirmelere göre malzeme dönüşünü engellemesinin yanı sıra, kompakt tasarımı sayesinde daha dar kenarlarda kullanım kolaylığı ve dayanıklılık sağlamaktadır. İnce sac malzemelerde(0.1- 0.5 mm) kullanımı idealdir.



Şekil 2.35 TOX-TWIN point sistemi (İnt.Kyn.10).

Birleştirme sistemlerinde kullanılan takımların kullanım ömürleri oldukça önemlidir. Kullanılan takım uçlarının ömürleri birleştirilen malzemelerin cinsi ve kalınlıklarına göre değişmektedir. Kullanılan takımlar ortalama 30000 ile 140000 parça birleştirebilmektedir (Çetkin 2010, İnt.Kyn.9, İnt.Kyn.10).

2.1.8.1 Form Punta Yönteminin Avantajları

Form punta yöntemi daha çok sac malzemelerin birleştirilmesinde kullanılır. Özellikle son on yılda nokta kaynağı ile birleştirilmesi imkânsız olan malzemelerin artan kullanımıyla birlikte yöntemin kullanılabilirliği de artmaktadır. Neredeyse otuz yıldır otomotiv ve beyaz eşya sektöründe kullanılmaktadır. Nokta kaynağı, vidalı birleştirme perçinleme, yapıştırma gibi diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında kullanılabilirliği Çizelge 2.1'den de görülebilir (Varis 2003, Rimašauskas and Bargelis 2005).

Çizelge 2.1 Farklı metal birleştirme yöntemlerinin birleştirilebilirliğinin incelenmesi (Rimašauskas and Bargelis 2005)

		Form punta	Nokta Kaynağı	Vidalı Birleştirme	Yapıştırma	Perçinleme
Malzeme	Alüminyum	√	X	√	√	√
	Bakır	√	X	√	√	√
	Düşük Kar. Çelik	√	√	√	√	√
	Paslanmaz Çelik	√	X	√	√	√
Kalınlık (mm)	0,8	√	√	X	√	√
	1	√	√	*	√	√
	1,25	√	√	√	*	√
	1,5	√	√	√	X	√
	2	√	√	√	X	√
Tür	Boyalı	√	X	√	*	√
	Galvanizli	√	X	√	*	√

√=Birleştirilebilir, X=Birleştirme mümkün değil, *=Belirsiz

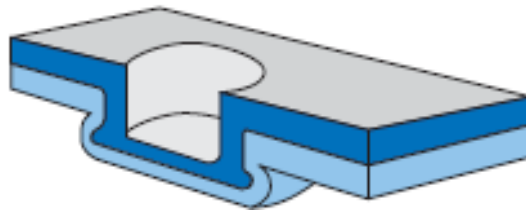
Yöntemin bazı avantajları;

- ✓ Bağlantılar herhangi bir deformasyona sebep olmadan kontrol edilebilir.
- ✓ Diğer vidalama ve perçinleme yöntemlerinden oldukça hızlı ve seridir.
- ✓ İş parçası üzerinde, bitmiş yüzeyde herhangi bir hasar oluşmaz.
- ✓ Birleşme bölgesi üzerinde herhangi bir termal yük oluşmaz.
- ✓ Kaynaktaki gibi koku duman, gaz gibi faktörler içermez.
- ✓ İşlem öncesi veya sonrası yüzey işlemi gerektirmez.
- ✓ Herhangi bir ek malzeme harcanmaz.

- ✓ Ek malzeme kullanmadığından maliyeti düşüktür.
- ✓ Estetik bir yüzey oluşturur.
- ✓ Geometri deformasyonu düşüktür.
- ✓ Atık madde ve çapak çıkarmaz.
- ✓ Enerji maliyetleri düşüktür.
- ✓ Çevreye dost bir teknolojidir.
- ✓ Bakım maliyetleri düşüktür.
- ✓ Birbiri ile aynı özellikte olmayan malzemelerin birleştirilmesinde diğer yöntemlere göre avantaj sağlamaktadır.
- ✓ Kaplama yapılmış ve boyanmış malzemelerin birleştirilmesinde zarar vermeden birleştirmeyi tamamlar.
- ✓ Kullanımı kolay olduğu için operatörlerin ekstra bir eğitim alması gerekmemektedir.
- ✓ Birleştirme sırasında ısı oluşmadığı için malzemelerde gerginlikler oluşmamaktadır (Çetkin 2010, İnt.Kyn.9).

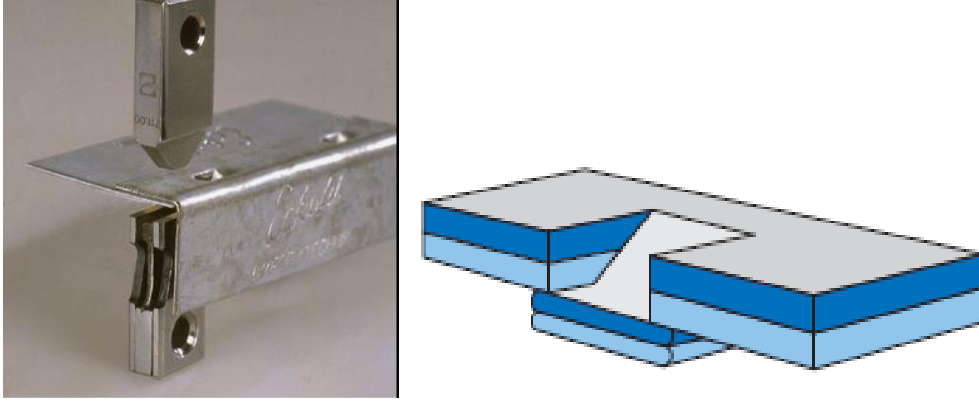
2.1.8.2 Form Punta Bağlantı Tipleri

Form punta ile bağlantı yönteminde kullanılan iki tip bağlantı vardır. Bunlar; dairesel formlu birleştirme ve dikdörtgen formlu birleştirmedir. Dairesel formlu birleştirme biçiminde parçalar lokal bir deformasyonla karşı karşıya kalarak kalıplar yardımıyla kenetlenmektedirler. Soğuk şekillendirme sayesinde birbirine kenetlenen malzemeler oldukça iyi sonuç vermektedir (Lorenzo and Landolfo 2004). Dairesel formlu birleştirme şekli Şekil 2. 36 'da görülmektedir.



Şekil 2.36 Dairesel olarak form punta işlemi uygulanmış parça (Çekiç 2007).

Dikdörtgen formlu birleştirme biçimi; daha çok sert çelik ve paslanmaz malzemelerde kullanılmaktadır. Uygulama yönüne bağlı olarak değişen mekanik özelliklerinin yanı sıra estetik özellikleri ve yan kesme birleştirmeleri gibi özel uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Dikdörtgen formlu birleştirme Şekil 2.37'de görülmektedir (Çetkin 2010).



Şekil 2.37 Dikdörtgen biçimli form punta işlemi uygulanmış parçalar (Çekiç 2007).

2.1.8.3 Form Punta Yönteminin Kullanım Alanları

Otomotiv sanayindeki kullanım alanları

- ✓ Motor kaputu
- ✓ Bagaj kapağı
- ✓ Direksiyon kolonu braketleri
- ✓ Kapılar
- ✓ Yakıt tankı bağlantıları
- ✓ Hava yastığı koruyucu
- ✓ Kapılar, bagaj kapağı,
- ✓ Ön cam silecek motorları
- ✓ Süspansiyonlar
- ✓ Koltuk çerçeveleri
- ✓ Ayna gövdeleri gibi birçok yerde kullanılmaktadır.

Form punta sisteminin otomotiv endüstrisindeki kullanım alanlarını aşağıdaki Şekil 2.38 ve Şekil 2.39'da görülmektedir.



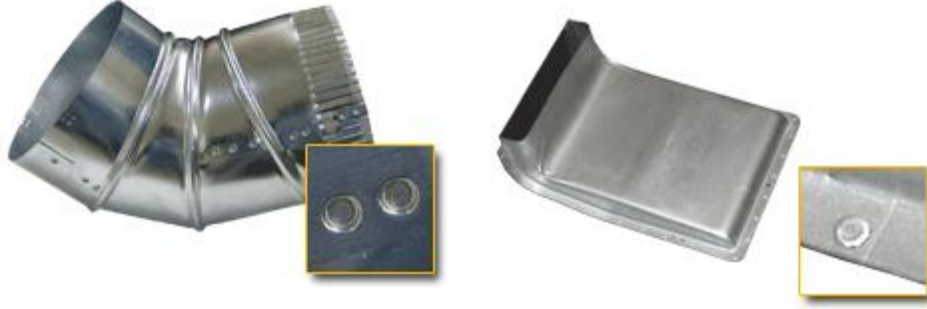
Şekil 2.38 Form punta sisteminin otomotiv endüstrisindeki kullanım alanları (İnt.Kyn.11).



Şekil 2.39 Form punta sisteminin bir otomobilde kullanıldığı yerlerin genel görünümü (İnt.Kyn.11).

Isıtıcı, klima, havalandırma uygulamaları

- Filtre gövdesi
- Havalandırma boruları ve gövdesi
- Radyatör vb. birçok yerde kullanımı vardır (Şekil 2.40)



Şekil 2.40 Dairesel ve dikdörtgen tipli bağlantıların havalandırma kanallarındaki kullanım örnekleri (İnt.Kyn.11).

Ofis ekipman uygulamaları

Dosya dolapları, reklam panoları, bilgisayar kasaları, ofis bölme işlemlerinde vb. yerlerde kullanılmaktadır (Şekil 2.41) (İnt.Kyn.11).



Şekil 2.41 Dosya dolabı (İnt.Kyn.11).

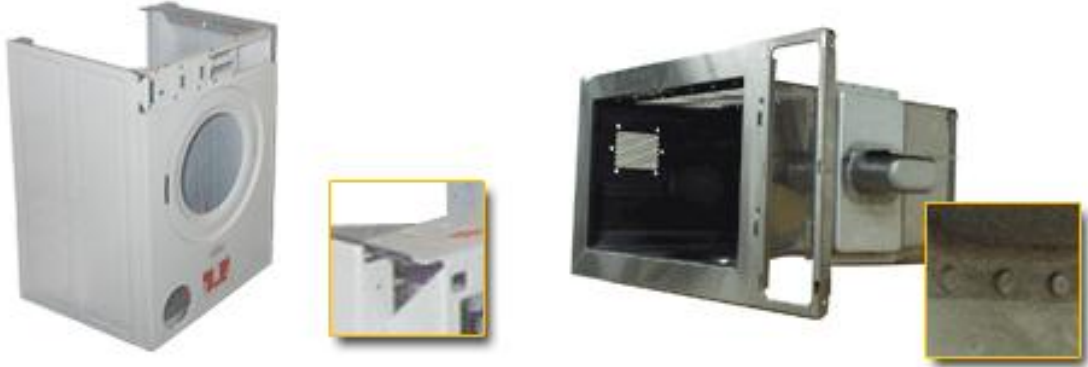
Bina inşaatı ve ev gereçleri uygulamaları

Özellikle prefabrik yapılarda, binaların esnek yapılarında, kirişlerde, garaj kapılarında, elektrik ve posta kutularında, su ve kalorifer kazanlarında kullanılmaktadır (Şekil 2.42).

ev gereçlerinde ise çamaşır makinesi ve kurutma makinesi çerçevelerinde, fırın ve soba yapılarında, asansör sistemlerinde kullanılmaktadır (Şekil 2.43) (İnt.Kyn.11).



Şekil 2.42 Garaj kapısı ve elektrik kutusu (İnt.Kyn.11).



Şekil 2.43 Çamaşır makinesi dış çerçevesi ve mikrodalga fırın (İnt.Kyn.11).

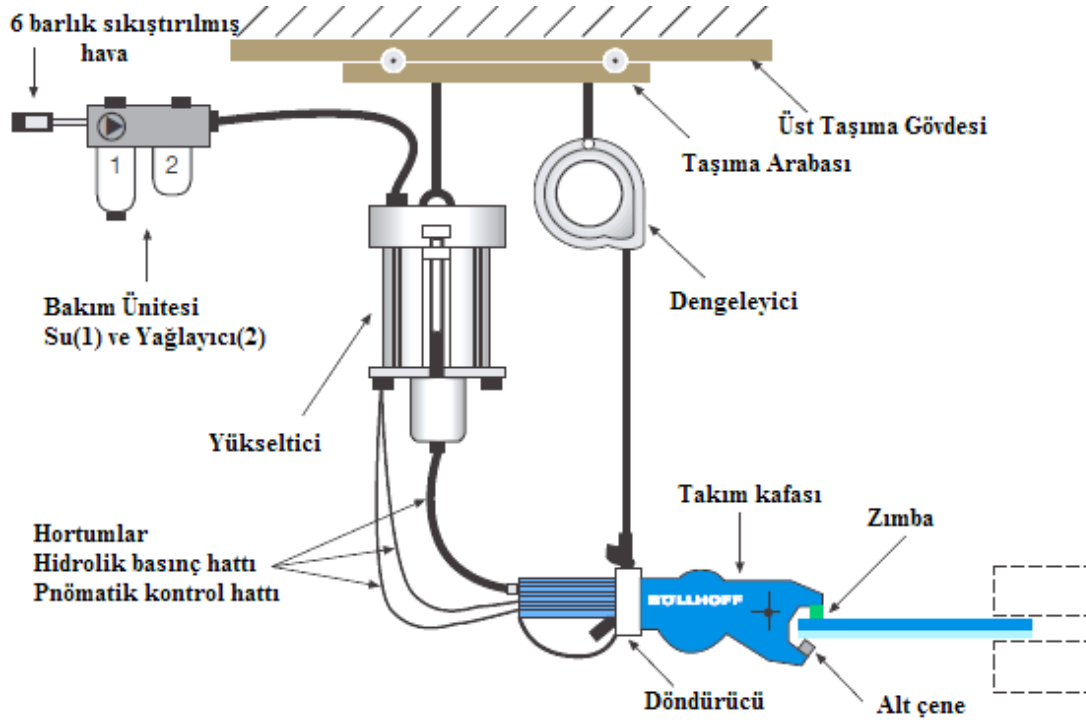
Elektrik uygulamalarında da diyot gibi birçok elemanda kullanılan bir tekniktir (Şekil 2.44).



Şekil 2.44 Elektrik aksanları uygulamaları (İnt.Kyn.11).

2.1.8.4 Form Punta Uygulamaları

Bu işlemi genel olarak manuel ve otomatik uygulamalar olmak üzere iki bölüme ayırmak mümkündür. Form punta işlemi manuel uygulaması Şekil 2.45'de şematik olarak görülmektedir.



Şekil 2.45 Form punta işleminin manuel uygulaması (Çekiç 2007).

Yükseltici ve dengeleyicinin ani bir harekete karşı önlem için aynı taşıma arabası üzerine monte edilmesi gerekir. Daha esnek bir kullanım için dengeleyici ve döndürücü de kolaylık sağlamaktadır. Tüm manuel form punta makinelerinde ağırlık optimize edilmeli ve ergonomi göz önünde bulundurulmalıdır. Kolay kullanımından dolayı bu tür el makinelerinin kullanımı her geçen gün artmaktadır. 35 kN'dan 105 kN'a kadar basınç kuvveti uygulayan el makineleri mevcuttur. Şekil 2.46'da bir form punta el makinesinin kullanımı görülmektedir.

Otomatik uygulamalar ise robot kollarına bağlanmış form punta üniteleri ile bu işlem yapılabilir. Bu sayede işçilik hataları, çevrim zamanları düşmekte, gövde

geometri iyileşmektedir. Şekil 2.47'de Form punta işleminin otomatik uygulama şekli görülmektedir (İnt.Kyn.10).



Şekil 2.46 Form punta el makinesi (İnt.Kyn.10).



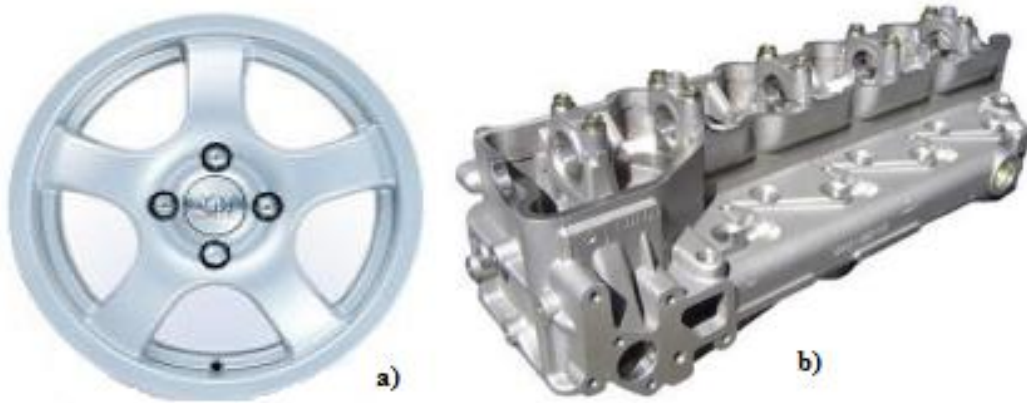
Şekil 2.47 Robot kollarına bağlanmış otomatik Form punta uygulama örnekleri (İnt.Kyn.10).

3. MATERYAL VE METOD

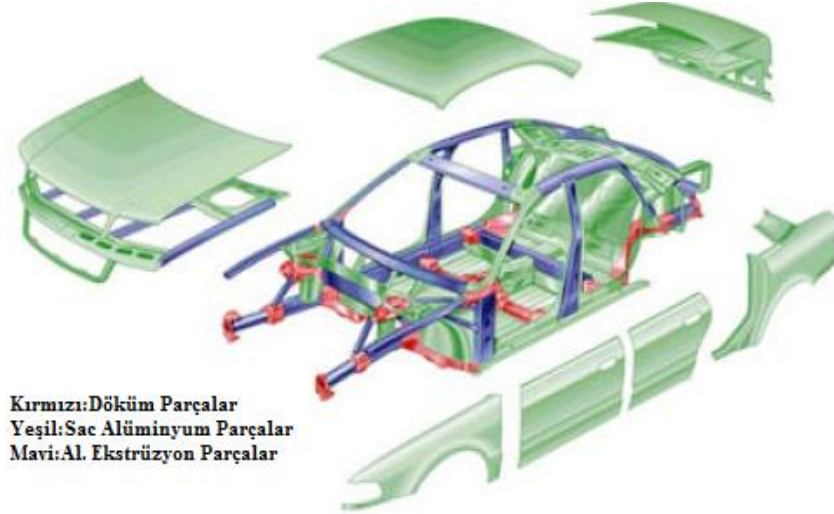
3.1 Malzeme Seçimi

Otomotiv sektörünün geliştirilmiş korozyon direnci ve boya adhezyonu gereksinimlerini en üst düzeyde karşılayan ürünler galvanize ürünlerdir. Otomotiv endüstrisindeki kullanımı da özellikle son yıllarda çok artmıştır. Günümüzde çoğu otomobil üreticileri hem iç yüzey hem de dış yüzey parça üretimlerinde galvanize saclar kullanarak, ürettikleri araçların korozyona karşı dayanıklılıkları konusunda garanti verebilmektedir. Deneylerde kullanılacak malzemeler otomotiv sektöründe yoğun olarak kullanılan galvanizli sac malzemelerden (Erdemir-1314 ve Erdemir-1312) seçilmiştir (İnt.Kyn.1).

Alüminyum ve alüminyum alaşımları ise günümüzde çelikten sonra en çok tercih edilen endüstriyel malzemeler konumuna gelmişlerdir. Bu gelişmeye paralel olarak günümüzde arabalarda çok çeşitli alüminyum parçalar kullanılmaktadır. Alüminyumdan imal edilmiş parçalar, aracın toplam ağırlığının yaklaşık %6'sını teşkil eder hale gelmiştir. Örneğin bir Avrupa kökenli otomobilde kullanılan alüminyum miktarı 65 kg'dır. Günümüzde otomobil uygulamalarında alüminyum kullanımı her yıl %4 büyümektedir. Bu gelişmelere örnek olarak İskandinavya'da Volvo'nun 140 kg alüminyum içeren modelleri üretilmiş, Almanya'da ise Audi, 1994 yılında tamamı alüminyumdan imal edilmiş A8 modelini yapmıştır. Şekil 3.1'de alüminyumun değişik kullanım alanları, Şekil 3.2'de ise bir otomobilde kullanılan alüminyum parçalar görülmektedir.



Şekil 3.1 a)Alüminyum jant b)Alüminyum silindir başlığı (Özcömert 2006).



Şekil 3.2 Audi A8 model otomobilin alüminyum parçaları (Özcömert 2006).

Yukarıda da belirtildiği gibi, otomobillerde hafif metal kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte yüksek mühendislik özellikleri ile alüminyum da otomotiv endüstrisine girmiş ve vazgeçilemez bir malzeme olmuştur. Bu yüzden üçüncü malzeme de alüminyum sac olan AW5754 seçilmiştir (Özcömert 2006). Otomotiv endüstrisinde kullanılan bu malzemelerin birleştirilmesi her zaman sorun olmuştur. Bu problemi çözmek için değişik teknikler geliştirilmiştir. Perçinli, lehimli vb. bağlantılar bu problemleri kısmen çözmektedir. Form punta tekniği ile farklı malzemelerin birleştirilmesi oldukça kolay ve diğer yöntemlere göre maliyeti çok daha azdır.

3.1.1 St1312 ve St1314 Plakaların Mekanik ve Kimyasal Özellikleri

Her ikisi de soğuk şekillendirmeye uygun düşük karbonlu çinko ile kaplanmış galvanize çeliklerdir. Birbirine benzer yapıdadırlar, aralarındaki en önemli fark % uzama miktarıdır. Atmosfere açık alanlarda malzemede oluşacak korozyonu engellemeye ve malzeme ömrünü artırmaya yönelik üretilen galvanizlenmiş malzemeler, özellikle otomotiv sektörü ve dış yüzey kaplama yapan sektörlerin en önemli girdisini oluşturmaktadır. Bunun yanında beyaz eşya ürün parçalarının büyük bir bölümünde galvanizli saclar kullanılmaktadır. Mükemmel bir korozyon direnci sağlaması, ekstra derin çekilebilirlik ve bükme istenen parça üretimlerinde kullanımı, rahatlıkla boyanabilirlikleri gibi özelliklerinden dolayı tercih sebebidir (İnt.Kyn.1). Mekanik ve kimyasal özellikleri de Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’de görülmektedir.

Çizelge 3.1 St1312 ve St 1314’ün kimyasal özellikleri (İnt.Kyn.1)

Standart Karşılığı		Erdemir Kalite No.	C maks.	Si maks.	Mn maks.	P maks.	S maks.	Ti maks.
Standart	Kalite							
DIN EN 10346	DX52D+Z	1312	0,12	0,5	0,6	0,1	0,045	0,3
DIN EN 10346	DX54D+Z	1314	0,12	0,5	0,6	0,1	0,045	0,3

Çizelge 3.2 St1312 ve St 1314’ün mekanik özellikleri (İnt.Kyn.1)

Standart Karşılığı		Erdemir Kalite No.	Garanti Süreleri		Re N/mm ²	Rm N/mm ²	A % min
Standart	Kalite		Mekanik Değerler	Akma İzi Oluşmaması			
DIN EN 10346	DX52D+Z	1312	1 ay	-	140-300	270-420	26
DIN EN 10346	DX54D+Z	1314	6 ay	6 ay	120-220	260-350	36

3.1.2 AW5754 Sac Plakaların Mekanik ve Kimyasal Özellikleri

Alüminyum ve alüminyum alaşımları, günümüzde artırılabilen mukavemet özellikleri ve korozyon dirençleri, özgül ağırlığının düşük olması, elektriği ve ısıyı çok iyi bir şekilde iletmesi ve kolay biçimlendirilebilirlik gibi özelliklerinden dolayı günümüz endüstrisinde son yıllarda artan bir kullanım alanına sahip malzemelerdir. Bu tür malzemelerin kullanım alanları; ev eşyalarından uzay teknolojisine kadar geniş bir alana yayılmıştır. (Özcömert 2006).

Çizelge 3.3 Al5754 plakaların kimyasal bileşimi (Çetkin 2010)

Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Diğer	Al
0,5	0,4	0,1	0,7	4,5	0,25	0,25	0,15	0,15	Kalan

Çizelge 3.4 Al5754 plakaların mekanik özellikleri (İnt.Kyn.6)

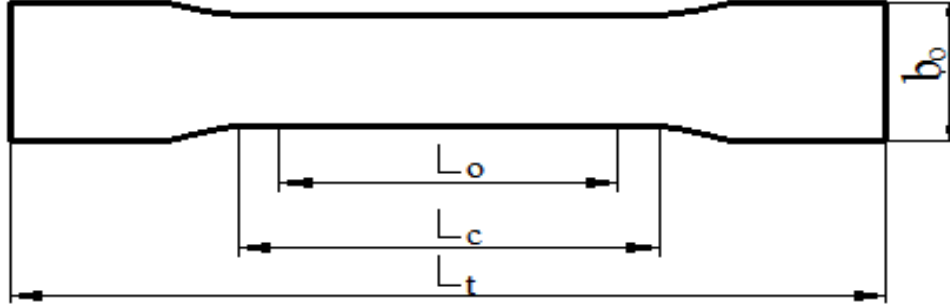
Akma Dayanımı (Re)	Çekme Dayanımı (Rm)	Kopma uzaması (A)
140-200 (Mpa)	200-270 (Mpa)	14-20(%)

3.2 Deney Numunelerinin Hazırlanması

Birleştirme yapılacak malzemeler belirlendikten sonra, ilk olarak malzemelerin mekanik özelliklerinin tespiti için sac numuneler Çizelge 3.5’de ki ölçü aralıklarına uygun olarak Şekil 3.3’te görüldüğü gibi şekillendirilmişlerdir ve her malzeme grubu TSE EN ISO 6892-1 standardına uygun olarak çekme testine tabi tutulmuştur.

Çizelge 3.5 TSE EN ISO 6892-1 Standardı ölçü değerlerleri (Anonim 2010)

Test Tipleri	Genişlik b_0	İlk Ölçü Uzunluğu L_0	Paralel Uzunluk L_c		Toplam Uzunluk L_t
			Minimum	Tavsiye Edilen	
1	12,5	50	57	75	87,5
2	20	80	90	120	140
3	25	50	60		Tanımlanmamış



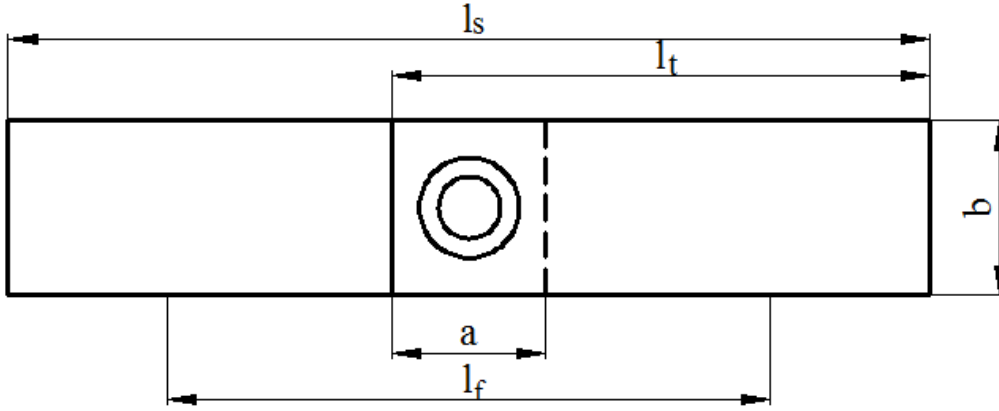
Şekil 3.3 TSE EN ISO 6892-1 Standardına uygun çekme deneyi numune örneği (Anonim 2010).

Daha sonra malzemeler üniversitemiz metal atölyesindeki giyotin makas ile TSE EN ISO 14273 standardına ve TSE EN ISO 14270 standardına göre kesim işlemleri yapılarak birleştirme öncesi uygun boyutlara getirilmişlerdir. Form punta yöntemi için belirlenmiş herhangi bir standart olmadığından, kullanılan standart ölçüleri, bu yöntemle en yakın nokta, dikiş ve projeksiyon kaynakları için belirlenen standartlara uygun bağlantılar yapılmıştır. Aşağıdaki Şekil 3.4'de TSE EN ISO 14273 standardına uygun birleştirme deney numune örneği ve Çizelge 3.6'da da ölçü aralıkları görülmektedir. Şekil 3.5'de ise TSE EN ISO 14270 standardına uygun ayırma testi numune örneği ve Çizelge 3.7'de de ölçü aralıkları görülmektedir.

Çizelge 3.6 TSE EN ISO 14273 Standardı ölçü değerleri (Anonim 2002b)

Kalınlık t	Üst Üste Binme Mesafesi a	Genişlik b	Toplam Uzunluk l_s	Saclar Arasındaki Serbest Uzunluk l_f	Her bir Sac Uzunluğu l_t
$0,5 \leq t \leq 1,5$	35	45 (30)	175	95	105
$1,5 < t \leq 3$	46	60 (30)	230	105	138
$3 < t \leq 5$	60	90 (55)	260	120	160
$5 < t \leq 7,5$	80	120 (80)	300	140	190
$7,5 < t \leq 10$	100	150 (100)	320	160	210

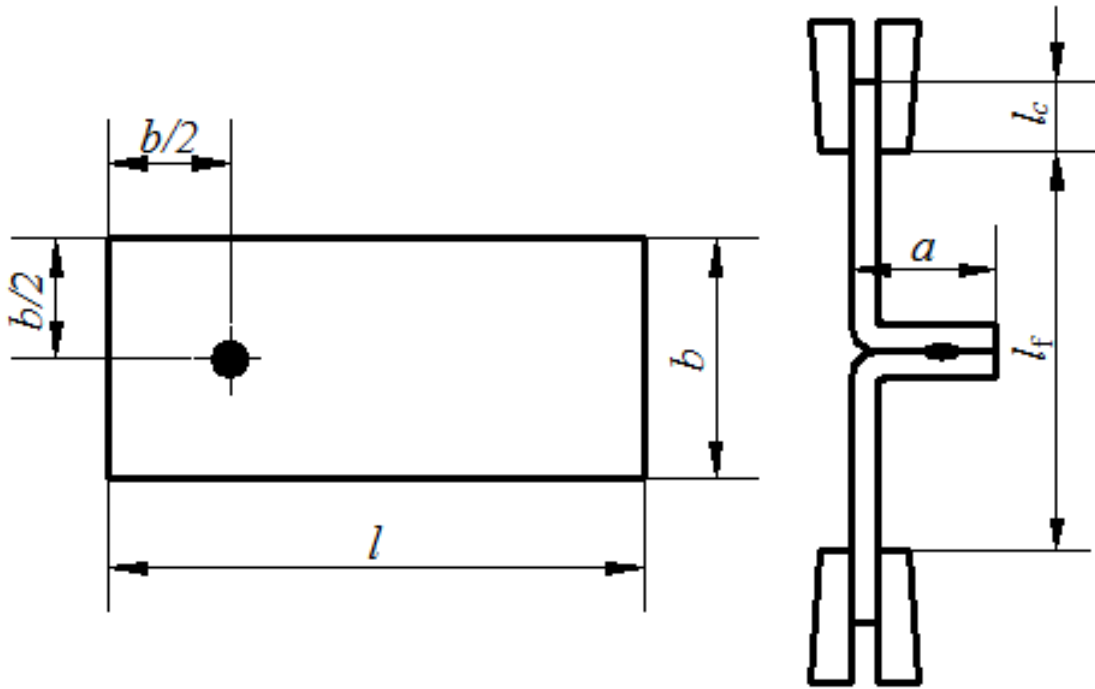
NOT: Genişlik kısmındaki parantez içinde verilen değerler üretici ve alıcı arasındaki anlaşmaya göre kullanılabilirler.



Şekil 3.4 TSE EN ISO 14273 Standardına uygun form punta ile birleştirme için hazırlanmış numune örneği (Anonim 2002b).

Çizelge 3.7 TSE EN ISO 14270 Standardı ölçü değerleri (Anonim 2002a)

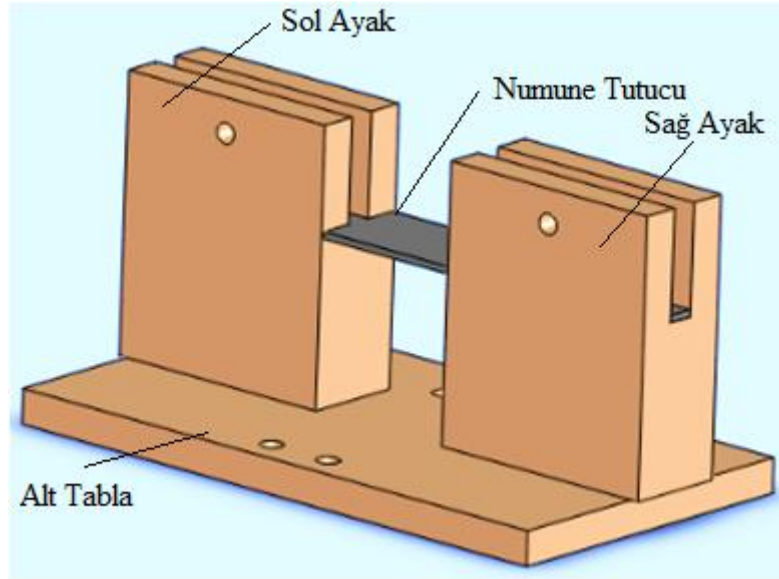
Kalınlık t	Üst Üste Binme Mesafesi a	Genişlik b	Her bir Sac Uzunluğu l	Saclar Arasındaki Serbest Uzunluk l_f	Bağlama Mesafesi l_c
$0,5 \leq t \leq 1,5$	35	45	125	95	40
$1,5 < t \leq 3$	45	60	160	105	60



Şekil 3.5 TSE EN ISO 14270 Standardına uygun birleştirme numune örneği (Anonim 2002a).

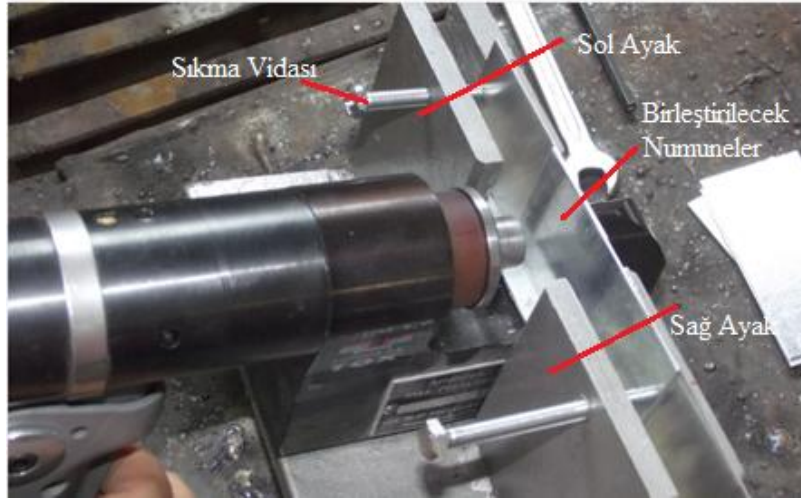
3.3 Malzemelerin Birleştirilmesi

Bu çalışmada malzemeler birleştirilmeye başlamadan önce birleştirmelerin standartlarda verilen ölçülere sahip olması için aparat tasarımı yapılmıştır. Aparat önce form punta el makinesine uygun olarak bir katı model programında tasarlanmış daha sonra teknik resimleri alınarak sanayide üretilmiştir. Aparat kullanılmadan yapılan birleştirmelerde sacların tutulması için bir kişinin yardımına gerek duyulmaktadır. İki kişi ile de plakaların tam ölçüsünde sabit tutulması imkânsızdır. Aparat, işlemin tek kişi tarafından yapılabilmesi ve standarda uygun olması için kullanılmıştır. Aşağıda Şekil 3.6'da tasarımı yapılan aparat görülmektedir.



Şekil 3.6 Numunelerin bağlantılarında kullanılan aparatın bilgisayarda tasarlanan şekli.

Aparat üniversitemizde bulunan Tox marka form punta makinesine monte edilmiştir. 45 kN güç kapasitesi olan bu makine yarı pnömatik ve yarı hidrolik olarak çalışmaktadır. Makinenin birleştirme işlemini yapabilmesi için yaklaşık 6 Bar basınçlı havaya ihtiyacı vardır. Birleştirebileceği toplam malzeme kalınlığı seçilen kalıpların limitleri olan 4mm ile sınırlıdır. Emniyet açısından, makineyi tetiklemek için kollarda bulunan dört butonun hepsine birden basılması gerekmektedir. Aşağıdaki Şekil 3.7'de aparatın form punta el makinesine monte edilmiş hali görülmektedir.



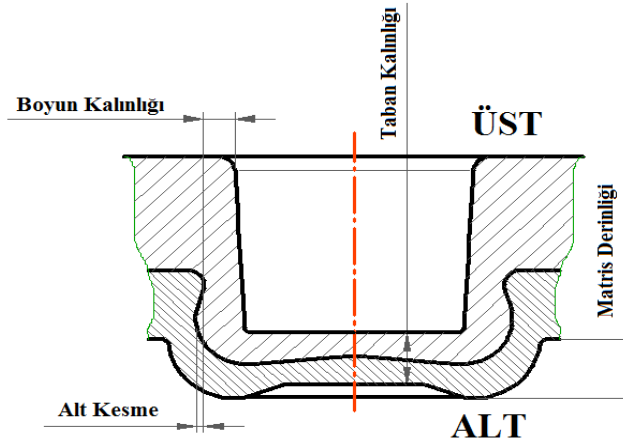
Şekil 3.7 Tasarlanan aparatın form punta makinesine monte edilmiş hali.

Aparat monte edildikten sonra atölyede uygun ortam hazırlanmış ve birleştirme işlemlerinde herhangi bir aksaklık olmaması için malzemeler art arda birleştirilmiştir. Aşağıdaki Şekil 3.8'de de görüldüğü gibi form punta makinesi dört ana parçadan oluşmaktadır. Bunlar; açma kapama ve emniyet butonunun bulunduğu elektrik kontrol panosu, makinenin basıncının ayarlandığı valf, birleştirmenin yapıldığı tabanca ve ana hidrolik-pnömatik gövdedir.



Şekil 3.8 Form punta el makinesi genel parçaları.

Birleştirmelerdeki kalınlığa bağlı dayanım farklılıkları belirleyebilmek için her malzeme grubu Çizelge 3.8'de de görüleceği gibi alt ve üst yer değiştirilerek birleştirilmiştir. Çizelgede verilen birleştirmeler AltXÜst şeklindedir. Birleştirme kesiti ve alt ve üst sac konumu Şekil 3.9'da görülmektedir. Herhangi bir karışıklık olmaması için birleştirme yapılacak malzemeler gruplandırılmıştır. Her malzeme gurubu için 1 mm temel alınarak 0,5 mm, 0,6 mm, 0,8 mm, 1 mm ve 1,5 mm kalınlığındaki malzemeler birbirleri ile birleştirilmişlerdir. Aşağıdaki Çizelge 3.8'de birleştirme grupları verilmiştir. Temin edilemeyen malzeme grupları x işareti ile gösterilmiştir. TSE EN ISO 14273 standardına göre birleştirilen numune örnekleri Şekil 3.10'da görülmektedir.



Şekil 3.9 Form punta ile birleştirilmiş parça kesiti.

Çizelge 3.8 Deneylerdeki birleştirme grupları

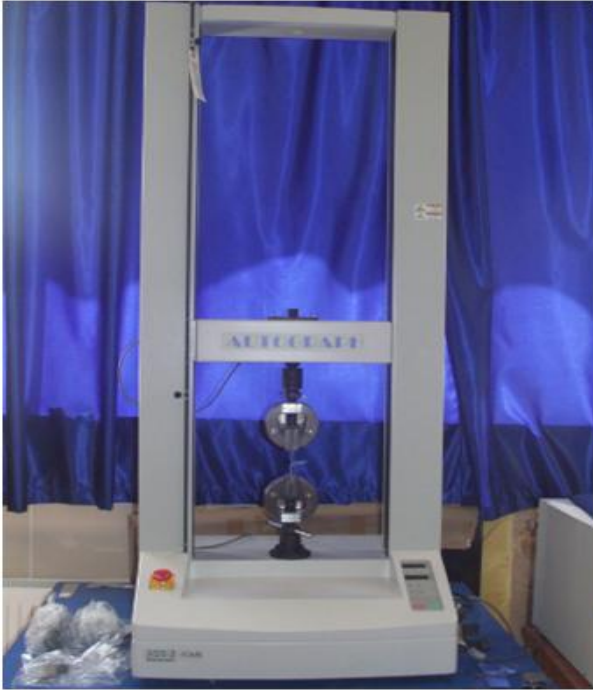
A Gurubu (AW5754)	B Gurubu (St1312)	C Gurubu (St1314)	D Gurubu (AW5754- St 1312)	E Gurubu (AW5754- St 1314)	F Gurubu (St 1314- AW5754)	G Gurubu (St1314- St1312)	H Gurubu (St 1312- AW5754)	K Gurubu (1312- 1314)
1Alx1,5Al	1Stx1,5St	1Stx1,5 St	1Alx1,5St	1Alx1,5St	1Stx1,5Al	1Stx1,5St	1Stx1,5Al	1Stx1,5St
1,5Alx1Al	1,5Stx1St	1,5Stx1St	1,5Stx1Al	1,5Stx1Al	1,5Alx1St	1,5Stx1St	1,5Alx1St	1,5Stx1St
1Alx1Al	1Stx1St	1Stx1St	1Alx1St	1Alx1St	1Stx1Al	1Stx1St	1Stx1Al	1Stx1St
1Alx1Al	1Stx1St	1Stx1St	1Stx1Al	1Stx1Al	1Alx1St	1Stx1St	1Alx1St	1Stx1St
1Alx0,8Al	1Stx0,8St	x	1Alx0,8St	x	1Stx0,8Al	1Stx0,8St	1Stx0,8Al	x
0,8Alx1Al	0,8Stx1St	x	0,8Stx1Al	x	0,8Alx1St	0,Stx1St	0,8Alx1St	x
1Alx0,6Al	1Stx0,6St	x	1Alx0,6St	x	1Stx0,6Al	1Stx0,6St	1Stx0,6Al	x
0,6Alx1Al	0,6Stx1St	x	0,6Stx1Al	x	0,6Alx1St	0,6Stx1St	0,6Alx1St	x
1Alx0,5Al	x	1Stx0,5St	x	1Alx0,5St	1Stx0,5Al	x	1Stx0,5Al	1Stx0,5St
0,5Alx1Al	x	0,5Stx1St	x	0,5Stx1Al	0,5Alx1St	x	0,5Alx1St	0,5Stx1St



Şekil 3.10 TSE EN ISO 14270 Standardına uygun birleştirilen malzemeler.

3.4 Çekme Testlerinin Yapılması

Çekme testleri için üniversitemizin Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Kompozit Malzeme Deney Laboratuvarında bulunan AGS-J AUTOGRAPH Universal Test Cihazı kullanılmıştır. 10 ton kapasiteye sahip universal test cihazı ile malzemelere çekme, basma, üç nokta eğme, dört nokta eğme, yaşlandırma, devirsel ve creep testleri uygulanabilmektedir. Şekil 3.11’de çekme test cihazı görülmektedir.



Şekil 3.11 AGS-J AUTOGRAPH Üniversal test cihazı.

Kullanımı son derece basit olan cihaz Trapezium programı ile bilgisayar kontrollü çalışır ve bütün işlemler uygulama paneli sayesinde gerçekleştirilir. Dijital LED göstergelerden basit birkaç fonksiyon seçimiyle mevcut yük, gerilme ve uzama değerlerini gösterir. Kuvvetler %1'den daha küçük bir sapma oranıyla ölçülür.

3.5 TSE EN ISO 6892-1 Standardına Uygun Çekme Deneyleri

Malzemelerin çekme kuvvetlerini, çekme gerilmelerini ve yüzde uzama miktarlarını belirlemek için çekme deneyleri sonucu elde edilen değerler malzemelerin satın alındığı şirketlerin belirlediği değerler ile örtüşmektedir. TS EN ISO 6892-1 standardına uygun olarak yapılan deney sonuçları aşağıdaki çizelge 3.9'da görülmektedir.

Çizelge 3.9 TS EN ISO 6892-1 standardına uygun yapılan çekme deneyi sonucunda elde edilen bazı değerler

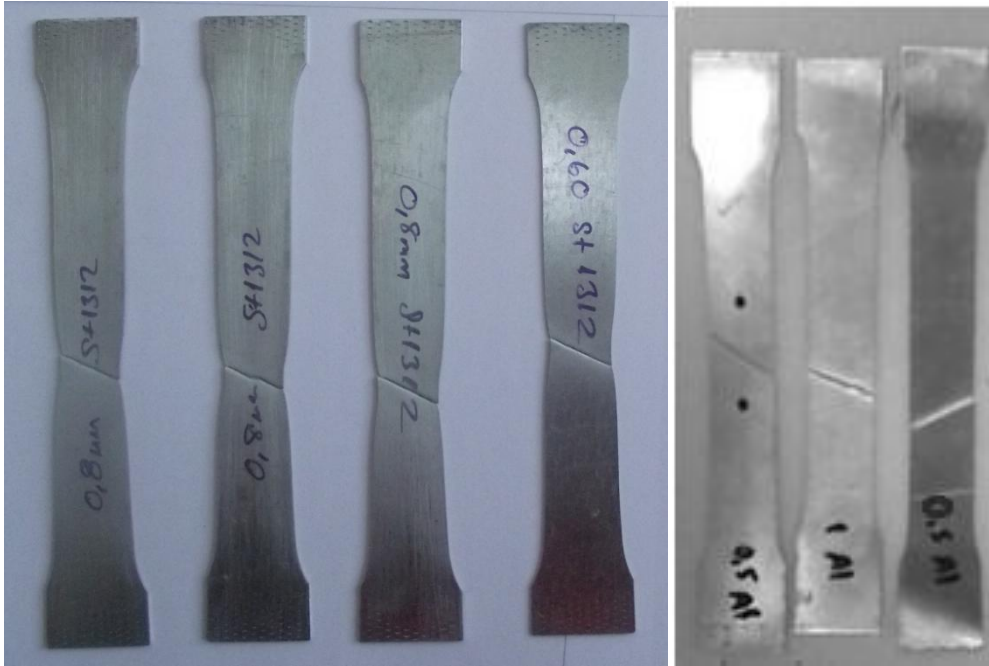
	Kalınlık (mm)	Çekme Gerilmesi (Mpa)	Uzama (%)
St 1312	0,6	384,90	25,70
	0,8	346,20	27,80
	1	327,90	27,40
	1,5	351,90	24,20
St1314	0,5	320,00	38,00
	1	300,10	40,30
	1,5	288,15	36,00
AW 5754	0,5	263,30	11,60
	0,6	220,42	20,60
	0,8	260,20	20,20
	1	247,55	17,16
	1,5	231,46	21,55

Bu çalışmada kullanılan alüminyum malzemeler AW5754'ün H111 serisinden seçilmiştir. Bükülebilme ve derin çekme kabiliyeti çok iyi olan H111 serisi malzeme; ekstrüzyonla, oksijen kaynağıyla ve lehimle birleştirilebilirliği iyi derecededir. Ayrıca seçilen malzemenin işlenebilirliği düşük olmasına rağmen; korozyon dayanımı yüksektir ve özellikle endüstriyel atmosfere ve deniz suyuna karşı dayanımı yüksektir. Yorulma dayanımı yüksek, soğuk şekillendirme ve kaplama için uygundur. TS EN ISO

6892-1 standardına göre kesilip hazırlanan malzemeler Şekil 3.12'de test bitiminden sonraki hasara uğramış durumları ise Şekil 3.13'de görülmektedir. Çekme işlemleri dakikada iki mm ilerleme verilerek yapılmıştır. Malzemeler çekme deneyinden beklendiği gibi orta bölgelerinden kopmuştur.



Şekil 3.12 TS EN ISO 6892-1 standardına uygun çekme deneyi için hazırlanan numuneler.



Şekil 3.13 TS EN ISO 6892-1 standardına uygun çekilmiş ve hasara uğrayan malzemeler.

4. BULGULAR

4.1 Çekme Deney Sonuçlarının Normalizasyonu

TS EN ISO 6892-1 standardına göre yapılan çekme deneylerinde kalınlık arttıkça kesit alanı da arttığı için çekme kuvvetleri de artmıştır. Çizelge 4.1'de ki normalizasyon oranlarına dayanarak TSE EN ISO 14273 ve TSE EN ISO 14270 standartlarına uygun yapılan deneyler sonucunda da bağlantı ayırma kuvvetlerinin kalınlık arttıkça dayanımında artacağı kesindir. Örneğin 1 mm kalınlığındaki iki St1314 plakasının birleştirilmesi ile elde edilen bağlantının ayırma kuvveti değeri, 0,5 mm kalınlığındaki iki St1314 plakasının birleştirilmesiyle elde edilen bağlantının ayırma kuvveti değerinin iki katı kadar olmalıdır. Ancak deneyler sonucunda böyle olmadığı görülmektedir. Aynı grafiklerde bağlantıların dayanımını karşılaştırırken, değişen kalınlık değerinin bizi yanıltması engellemek ve hata payını azaltmak için deney sonucunda elde edilen değerler, çekme kuvvetlerine göre normalize edilmiştir. Normalize işleminde; TSE EN ISO 6892-1 standardına göre yapılan deneyler sonucu elde edilen çekme gerilmelerine göre, tam bir birleşme olması durumunda elde edilmesi gereken toplam gerilme hesaplanmıştır. En düşük gerilme oranının bir olması gerektiği düşünülerek hesaplanan toplam gerilmeler en düşük gerilmeye bölünmüştür. TSE EN ISO 14273 ve TSE EN ISO 14270 standardına göre yapılan deneyler sonucu elde edilen değerler; toplam gerilmenin en düşük gerilmeye bölünmesi sonucu elde edilen değere bölünerek, kalınlıklara bağlı yanılma payları minimize edilmeye çalışılmıştır. Aşağıdaki formülde; F_n normalize edilen kuvveti, F_t toplam kuvveti, F_{min} minimum kuvveti ve F_s deneylerden elde edilen kuvvetleri göstermektedir.

$$F_n = \frac{F_s}{\frac{F_t}{F_{min}}} \quad (1)$$

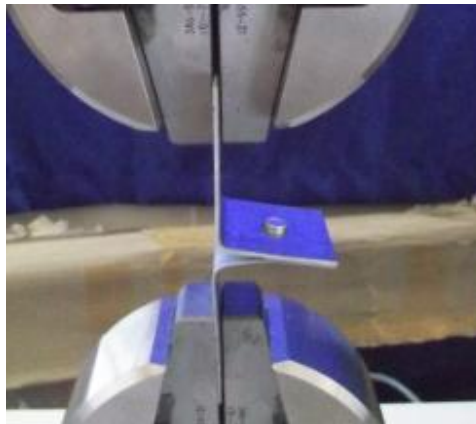
Çizelge 4.1 Birleştirilen numunelerin normalizasyon oranları

Alt x Üst (mm)	St1314x AW5754	St1314x St1314	St1314x St1312	St1312x AW5754	St1312x St1314	St1312x St1312	AW5754x AW5754	AW5754x St1314	AW5754x St1312
1.0x1.5	1,71	1,93	2,18	1,78	2,00	2,26	1,57	1,79	2,05
1.0x1.0	1,44	1,58	1,66	1,52	1,66	1,73	1,31	1,44	1,52
1.0x0.8	1,34	X	1,52	1,41	X	1,59	1,20	X	1,38
1.0x0.6	1,14	X	1,40	1,22	X	1,47	1,02	X	1,26
1.0x0.5	1,13	1,21	X	1,21	1,29	X	1,00	1,07	X

Not: X ile gösterilen değerler temin edilemeyen malzeme kalınlıklarıdır.

4.2 1 mm Kalınlığındaki St1314 Plakanın Birleştirilmesi

Çekme testleri için, kesilen numunelerin boyutları materyal ve metot kısmında verilmişti. TSE EN ISO 14273 standardına uygun boyutlarda birleştirilen ve her bir malzeme gurubu için beşer adet çekme testi yapılan plakaların ortalama çekme değerleri gruplar halinde çizelgelerde verilmiştir. Ortalama değerler; en dūřuk kuvvet ve en yüksek kuvvet çıkartılarak, kalan değerlerin numune sayısına bölünmesi ile hesaplanmıştır. Çekme deneyleri; Afyon Kocatepe Üniversitesi, Kompozit Malzemeler Laboratuvarında bulunan, AGS-J AUTOGRAPH niversal çekme test cihazında yapılmıştır. Deneylerdeki ekme hızı, dakikada 1 mm ilerleme verilerek belirlenmiştir. İlerlemenin 1 mm verilmesinin nedeni çekilen plakaları mümkün olduğunca statik yüklerin dışında bırakmaktır. TSE EN ISO 14270 standardına uygun, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Metal atölyesinde bulunan giyotin makas ile kesilen sac plakaların boyutları yine materyal ve metot kısmında verilmişti. Uygun formlarda kesilip hazırlanan numuneler yine Afyon Kocatepe Üniversitesi, Metal atölyesindeki bükme makinesi yardımıyla 90⁰ bükülerek ayırma (kabuk soyma) testleri için birleştirmeye hazır hale getirilmiştir. Her malzeme gurubu için bulunan sonuçlar gruplar halinde çizelgeler ve grafikler halinde verilmiştir. Birleřtirilmiř plakaların ayırma (kabuk soyma) işlemleri çekme testlerinde kullanılan, Afyon Kocatepe Üniversitesi Kompozit Malzemeler Laboratuvarında bulunan, AGS-J AUTOGRAPH niversal çekme test cihazında yapılmıştır. Tüm ayırma (kabuk soyma) testlerinde ilerleme değeri 1mm/dak alınmıştır. Ayırma deneyinin uygulanışı şekil 4.1'de görülmektedir.



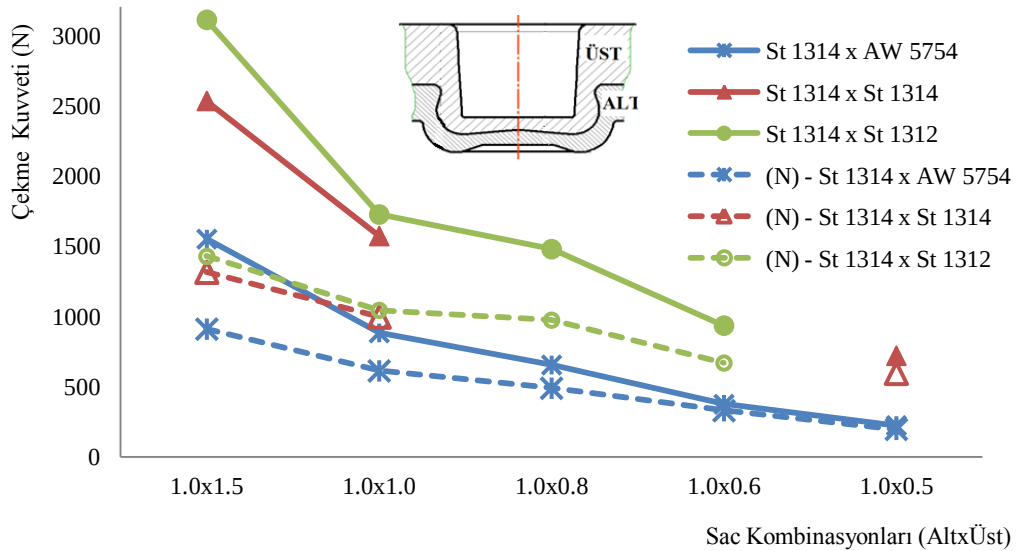
şekil 4.1 TSE EN ISO 14270 Standardına uygun ayırma deneyinin uygulanışı.

St1314 galvanizli çelik sac plakaların TSE EN ISO 14273 standardına göre diğer sac plakalar ve St1314 sacla yaptığı birleştirmeler sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.2'de görülmektedir. Çizelge incelendiğinde 1 mm St1314 plakaların altta konumlandığı yani dış formu oluşturduğu deneylerde AW5754 plakalar, St1312 plakalar ve St1314 plakalar ile yaptığı birleştirmelerde üstteki plakanın kalınlığı azaldıkça çekme kuvveti de azalmıştır. Ayrıca aynı kalınlıktaki bağlantılarda en iyi bağlantı St1314 ile St1312 plakaların birleşmesinden elde edilmiştir. En düşük değerler ise AW5754 ile yapılan birleştirmelerde tespit edilmiştir. Şekil 4.2'de ve bundan sonraki şekillerde kesik çizgi ile gösterilen kuvvetler normalize edilmiş kuvvetler, normal düz çizgi ile gösterilenler ise deney sonuçlarında elde edilen çekme kuvvetlerini göstermektedir. Ayrıca bağlantı kombinasyonlarının gösteriminde başında (N) olan değerler yine normalize edilen kuvvetleri göstermektedir.

Çizelge 4.2 1 mm kalınlığındaki St1314 plakaların TSE EN ISO 14273 standardına göre çekme kuvvetleri (1 mm St 1314 altta iken)

Alt x Üst (mm)	St 1314 x AW 5754		St 1314 x St 1314		St 1314 x St 1312	
	Çekme Kuvveti (N)	Normalize Edilmiş Kuvvet (N)	Çekme Kuvveti (N)	Normalize Edilmiş Kuvvet (N)	Çekme Kuvveti (N)	Normalize Edilmiş Kuvvet (N)
1.0x1.5	1549,66	909,15	2532,66	1313,36	3110,00	1426,41
1.0x1.0	882,48	611,92	1571,66	994,28	1724,83	1042,99
1.0x0.8	653,71	488,40	X	X	1478,00	972,67
1.0x0.6	374,08	328,56	X	X	933,96	667,82
1.0x0.5	222,81	195,97	719,6	593,91	X	X

Not: X ile gösterilen değerler temin edilemeyen malzeme kalınlıklarıdır.



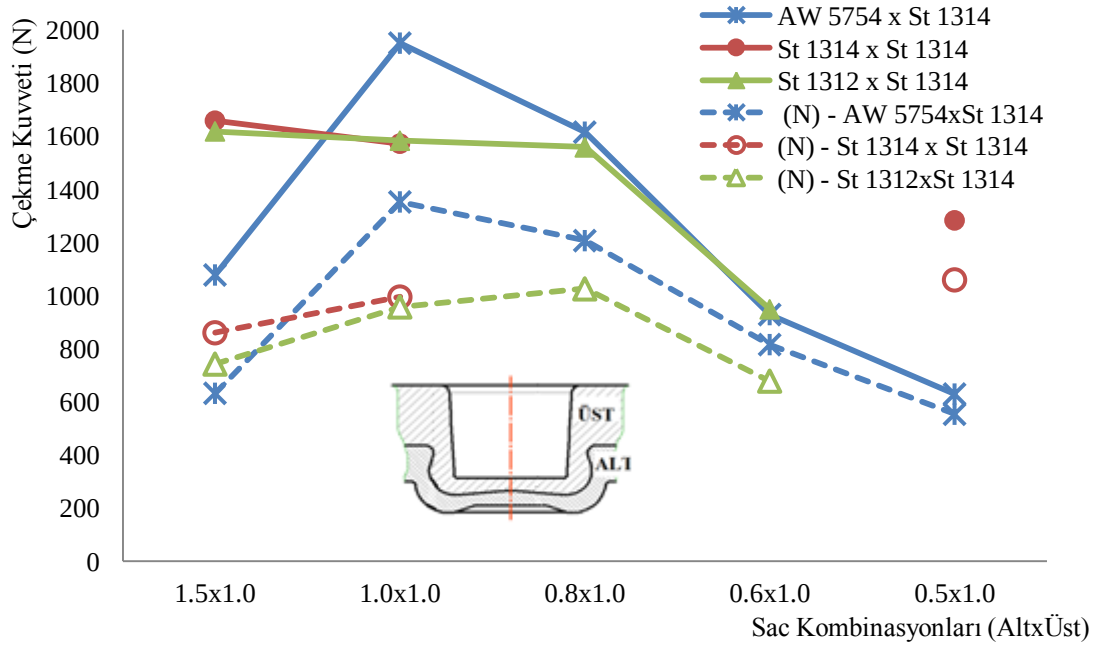
Şekil 4.2 1 mm kalınlığındaki St1314 plakaların TSE EN ISO 14273 standardına göre çekme kuvvetleri (1 mm St 1314 altta iken).

1 mm kalınlığındaki St1314 plakanın TSE EN ISO 14273 standardına göre üstte konumlandığı durum da ise kendisiyle yaptığı birleştirmelerde ve St1312 ile yaptığı birleştirmelerde alttaki plakanın kalınlığı düştükçe çekme dayanımı da düşmüştür. İki gurubunun sonuçları da birbirine yakın değerler çıkmıştır. St1314 plakanın AW5754 plaka ile yaptığı birleşmelerde ise en iyi sonuç 1 mm kalınlığındaki AW5754 ile yapılan birleştirmede tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar şekil 4.3'de ve  izelge 4.3'de görülmektedir.

Çizelge 4.3 1 mm kalınlığındaki St1314 plakaların TSE EN ISO 14273 standardına göre çekme kuvvetleri

Altüst (mm)	AW 5754xSt 1314		St 1314 x St 1314		St 1312xSt 1314	
	�ekme Kuvveti (N)	Normalize Edilmiş Kuvvet (N)	�ekme Kuvveti (N)	Normalize Edilmiş Kuvvet (N)	�ekme Kuvveti (N)	Normalize Edilmiş Kuvvet (N)
1.5x1.0	1077,25	631,99	1657,83	859,69	1617,66	741,94
1.0x1.0	1950	1352,15	1571,66	994,28	1582,66	957,01
0.8x1.0	1614,83	1206,47	X	X	1557,5	1024,99
0.6x1.0	928,16	815,20	X	X	947,9	677,78
0.5x1.0	629,03	553,25	1282,83	1058,76	X	X

Not: X ile gösterilen değerler temin edilemeyen malzeme kalınlıklarıdır.



şekil 4.3 1 mm kalınlığındaki St1314 plakaların TSE EN ISO 14273 standardına göre çekme kuvvetleri(1 mm St1314 üstte iken).

Bu tez çalışmasında yapılan bazı bağlantılarda 1mmx1mm kombinasyonlarının 1,5mmx1mm kombinasyonlarından daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Tan vd. (2005)'de 0,8 mm, 1 mm ve 1,15 mm olmak üzere üç farklı kalınlık kullanarak yaptıkları karşılaştırmalarda, en iyi birleştirmenin 1 mm ile yapılan bağlantıda olduğunu belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçlar Tan vd. (2005)'nin yapmış olduğu çalışma sonuçları ile benzerlik göstermektedir.

St1314'ün üstte konumlandığı tüm deneyler sonucunda her ne kadar kalınlık düştükçe dayanımın da düştüğü görülse de; normalize edilen kuvvetlerde, 1,5mmx1mm kombinasyonun değerinin düşük olmasının nedeni, çekme kuvveti değerinin kendisinden beklenen değerden daha düşük olmasıdır.

1 mm kalınlığındaki St1314 galvanizli çelik sacın altta ve üstte konumlandırılması birlikte incelenirse; 1,5 mm ile olan birleştirmelerde, 1 mm St1314'ün altta olduğu durumlar üstte olduğu duruma göre daha iyi sonuç vermiştir. Fakat 0,8 mm, 0,6 mm ve 0,5 mm'de tam tersi bir durum söz konusudur. Bu durumda 1 mm St1314'ün üstte konumlandığı durumlarda çekme dayanımı daha yüksek ölçülmüştür. Yani farklı kalınlıklardaki birleştirmelerde daha ince olan sacın altta olduğu durumlarda iyi sonuç elde edildiği belirlenmiştir. Birleştirilen plakaların kalınlıklarının birbirine yakın olduğu durumlarda da bağlantının daha güvenilir olduğu ve saclar arasındaki kalınlık oranı arttıkça, bağlantı çekme kuvvetinin azaldığı görülmüştür. Üstteki plakada şekil değiştirme daha fazla olduğu için kalın sacın üstte olması TSE EN ISO 14273 standardına göre yapılan deneylerde daha iyi sonuç vermiştir. Mucha vd. (2011)'de yaptıkları çalışma sonucunda birleştirmelerde sac plakaların alt-üst yer değiştirilmesini incelemişlerdir. Plakaların yer değiştirmesi sonucunun yaklaşık %63 değişiklik ile sonuçlandığını tespit etmişlerdir. Bu tez çalışmasında da plakaların alt-üst yer değiştirmesi sonucunda çekme kuvvetlerinde önemli farklılıklar bulunmuştur.

St1314 ile alüminyum sacın bağlantılarında, alüminyum sacın altta olduğu durumlarda daha yüksek çekme dayanımı değerleri ölçülürken; St1312 ile yapılan bağlantılarda St1314'ün altta olduğu durumlarda daha yüksek çekme dayanımları ölçülmüştür. Şekil değiştirme oranı ve şekil değiştirme hızı üstteki sacda daha fazla olduğu için alüminyum

malzemenin iç formu oluşturduğu durumlarda iyi sonuçlar alınmamıştır. Çünkü seçilen alüminyum plakalar gevrek malzemelerdir bu yüzden iç formda kullanılması uygun değildir. Seçilen malzemeler içinde dayanımı en yüksek olan St1312 plakalardır. Çekme dayanımı yüksek olan malzemelerin şekillendirilmeleri için daha yüksek kuvvetlere ihtiyaç vardır (Tan et al. 2005). St1312 plakalar altta konumlandığında, St1314 plaka St1312'nin içine doğru ilerleyemez. Tam tersi durumda ise St1314xSt1312 kombinasyonu daha iyi bir bağlantı gerçekleştirir (Şekil 4.4).



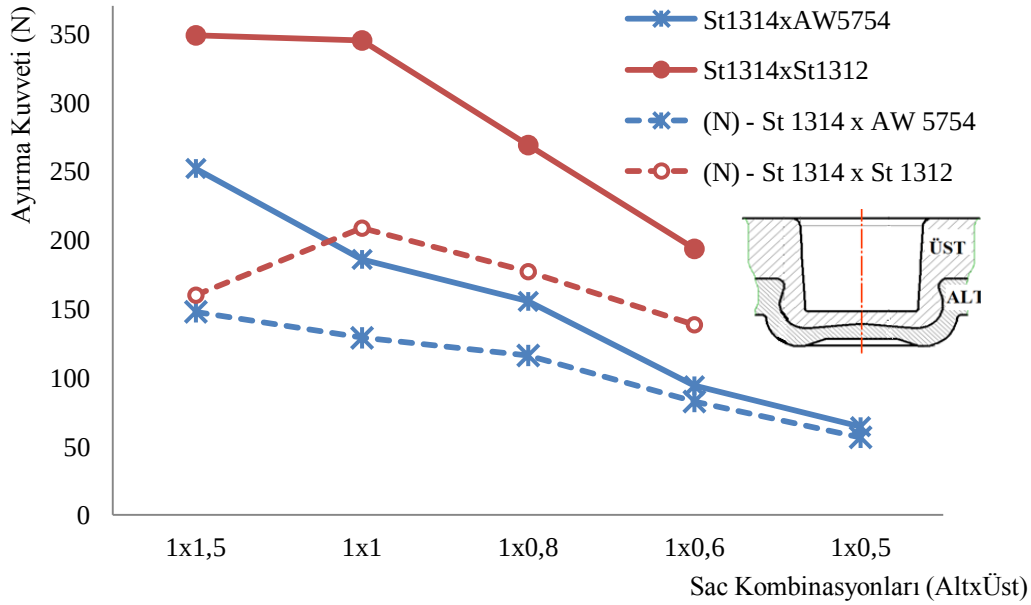
Şekil 4.4 Farklı malzemelerin bağlantı kesitleri

1 mm kalınlığındaki St1314 galvanizli çelik sacın; TSE EN ISO 14270 standardına göre, AW5754 alüminyum sac ve St1312 galvanizli çelik sac ile yaptığı birleştirmeler sonucu elde edilen ayırma kuvvetleri aşağıdaki Çizelge 4.4 ve Şekil 4.5'de görülmektedir. Grafiği incelediğimizde; TSE EN ISO 14273 standardına göre yapılan çekme deneylerindeki gibi, 1 mm kalınlığındaki sac ile birleştirilen plakaların kalınlığı düştükçe ayırma kuvvetinin de düştüğü görülmektedir. TSE EN ISO 14273 standardında yapılan deneylerdeki gibi St1314xSt1312 kombinasyonlarının ayırma kuvvetleri, St1314xAW5754 kombinasyonlarından daha iyi sonuç vermiştir.

Çizelge 4.4 1 mm kalınlığındaki St1314 plakaların TSE EN ISO 14270 standardına göre ayırma kuvvetleri

Alt x Üst (mm)	St 1314 x AW 5754		St 1314 x St 1312	
	Çekme Kuvveti (N)	Normalize Edilmiş Kuvvet (N)	Çekme Kuvveti (N)	Normalize Edilmiş Kuvvet (N)
1.0x1.5	252,06	147,87	348,75	159,95
1.0x1.0	201,65	128,96	345,05	208,64
1.0x0.8	155,45	116,14	269,01	177,03
1.0x0.6	94,15	82,69	193,6	138,43
1.0x0.5	64,43	56,66	X	X

Not: X ile gösterilen değerler temin edilemeyen malzeme kalınlıklarıdır.



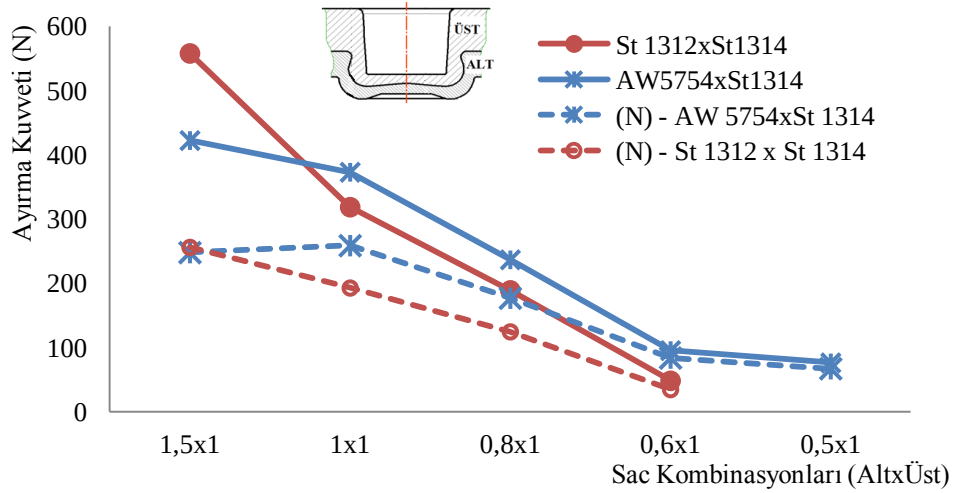
Şekil 4.5 1 mm kalınlığındaki St1314 plakaların TSE EN ISO 14270 standardına göre ayırma kuvvetleri (1 mm St1314 altta iken).

1 mm St1314 galvanizli sacın TSE EN ISO 14270 standardına göre birleştirilmesinde üstte konumlandığı birleştirmelerde de altta konumlandığı durumlardaki gibi birleştirilen toplam plaka kalınlığı düştükçe ayırma kuvveti de düşmüştür. 1,5mmx1mm kombinasyonlarında St1312 ile yapılan birleştirmeden daha iyi sonuç elde edilirken diğer kalınlıklarda alüminyum sac ile yapılan birleştirmeler daha iyi sonuç vermiştir. Alüminyum plakanın dış formu oluşturduğu durumlarda sonuçlar 1,5 kat daha iyi çıkmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5 ve Şekil 4.6'da görülmektedir.

Çizelge 4.5 1 mm kalınlığındaki St1314 plakaların TSE EN ISO 14270 standardına göre ayırma kuvvetleri (1 mm St 1314 üstte iken)

AltıxÜst (mm)	AW 5754 x St 1314		St 1312 x St 1314	
	Çekme Kuvveti (N)	Normalize Edilmiş Kuvvet (N)	Çekme Kuvveti (N)	Normalize Edilmiş Kuvvet (N)
1,5x1,0	422,18	247,68	557,88	255,87
1,0x1,0	329,28	258,53	318,43	192,55
0,8x1,0	236,51	176,70	188,91	124,32
0,6x1,0	95,11	83,53	48,08	34,37
0,5x1,0	76,03	66,87	X	X

Not: X ile gösterilen değerler temin edilemeyen malzeme kalınlıklarıdır.



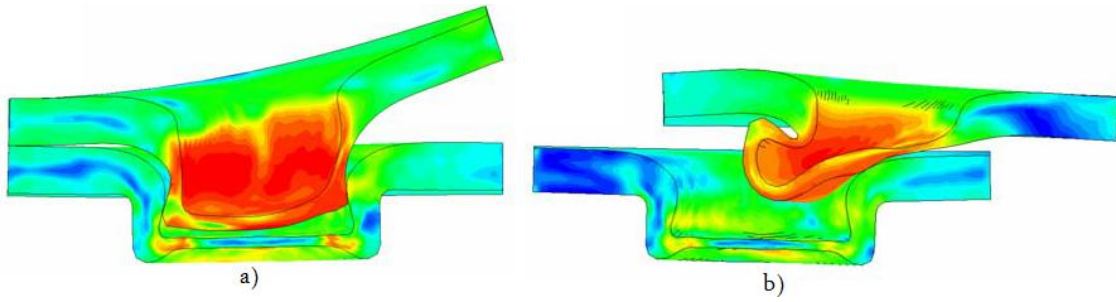
Şekil 4.6 1 mm kalınlığındaki St1314 plakaların TSE EN ISO 14270 standardına göre ayırma kuvvetleri (1 mm St1314 üstte iken).

St1314'ün altta olduğu durumda ve St1312 ile yaptığı bağlantılarda, üstte olduğu durumda da alüminyum ile yaptığı bağlantılarda, 1mmx1mm kombinasyonu 1,5 mm ile yapılan kombinasyonlardan daha yüksek çekme değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Normalize edilen kuvvetlere bakılarak, bunun sebebinin, 1,5mmx1mm kombinasyonunun çekme kuvvetlerinin beklenenin altında bir değere sahip olmasıdır.

1 mm kalınlığındaki St1314 galvanizli sacın TSE EN ISO 14270 standardına göre yapılan birleştirmelerinde altta ve üstte konumlanması birlikte incelendiğinde; alüminyum sac ile yapılan birleştirmelerde alüminyum sacın altta olduğu durumda daha iyi sonuç elde edildiği belirlenmiştir. St1312 plakalar ile yapılan birleştirmelerde ise 1,5 mm St1312'nin altta olduğu durum üstte olduğu duruma göre daha iyi sonuç vermiştir. Fakat diğer kalınlıklarda St1314 plakaların altta olduğu durumlar daha iyi sonuç vermiştir. TSE EN ISO 14270 standardına göre yapılan deneylerde alt ve üst yer değiştirme sonucunda bağlantı dayanımlarında TSE EN ISO 14273 standardına göre yapılan çekme deneylerindeki gibi önemli farklılıklar görülmektedir.

Çekme kuvvetlerine ve ayırma kuvvetlerine bakıldığında çekme kuvvetlerinin ayırma kuvvetlerinden yaklaşık üç kat daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. Bazı bağlantılarda bu değer beş kata kadar çıktığı da gözlemlenmiştir. Coppieters vd. (2007)'nin de belirttiği gibi ayırma (kabuk soyma) testlerindeki değerlerin, çekme deneylerinden elde edilen değerlerle aynı olmaması çok normaldir. Çünkü sınır şartları

farklıdır. Ayırma testlerinde malzemeyi tutan kısım sadece S formunun olduğu kısımdır fakat çekme testlerinde Şekil 4.7’de de görüldüğü gibi plaka daha fazla deformasyona uğramakta ve özellikle üstteki plakanın oluşturduğu formun tamamen bozulması sonucu levhalar ayrılmaktadır. Bu yüzden Form punta bağlantılarında sağlıklı bir kenetlenmenin olabilmesi için parçaların birbiri içerisinde oluşturdukları kenetlenmeyi sağlayan S şeklindeki form oldukça önemlidir. Birçok parametreye göre değişebilen bağlantılarda; birleştirmenin kalitesini belirleyen en önemli etkenler, sac kalınlıkları ve malzemelerin şekillenebilme özellikleridir.



Şekil 4.7 a) Ayırma (kabuk soyma testi b) Çekme (kayma) testi (Coppieters et al. 2007).

1 mm St1314 ile 1,5 mm AW5754 arasında yapılan bağlantıların kesit görünüşleri aşağıdaki Şekil 4.8’de görülmektedir. TSE EN ISO 14273 standardına göre yapılan deneylerde çelik sacın altta olduğu durum daha iyi sonuç vermesine rağmen TSE EN ISO 14270 standardına göre yapılan deneylerde ise alüminyum sacın altta olduğu durum daha iyi sonuç vermiştir. 1,5 mm AW5754’ün altta olduğu durumda S formunun daha iyi olduğu Şekil 4.8’den de görülmektedir.



Şekil 4.8 1 mm St1314 ile AW5754 arasında yapılan bağlantı kesitleri

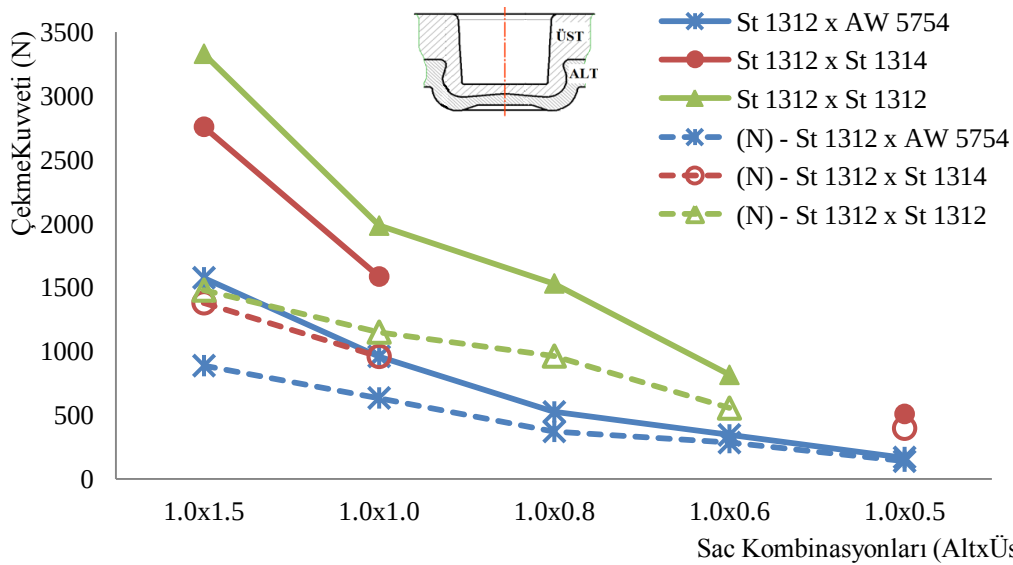
4.3 1 mm Kalınlığındaki St1312 Plakaların Birleştirilmesi

1 mm St1312 galvanizli sac plakanın TSE EN ISO 14273 standardına göre diğer sac plakalar ile birleştirilmesi sonucu elde edilen çekme dayanımları aşağıdaki  izelge 4.6'da ve şekil 4.9'da görülmektedir. 1 mm St1312'nin altta konumlandığı durumda, St1314' n yaptığı birleştirmelerde olduğu gibi, diğer bağlantı gurupları ve St1312 ile yapılan tüm bağlantılarda kalınlık düştükçe çekme dayanımı da düşmüştür. Aynı kalınlıklarda yapılan birleştirmelerde en iyi birleştirme St1312'nin kendisiyle yaptığı birleştirme, en düşük dayanım ise AW5754 sac plakalar ile yapılan birleştirmelerde gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.6 1 mm kalınlığındaki St1312 plakaların TSE EN ISO 14273 standardına göre çekme kuvvetleri (1 mm St1312 altta iken)

Alt x üst (mm)	St1312 x AW5754		St1312 x St1314		St1312 x St1312	
	�ekme Kuvveti (N)	Normalize Edilmiş Kuvvet (N)	�ekme Kuvveti (N)	Normalize Edilmiş Kuvvet (N)	�ekme Kuvveti (N)	Normalize Edilmiş Kuvvet (N)
1.0x1.5	1573,00	884,92	2755,50	1376,77	3327,50	1476,70
1.0x1.0	1124,83	631,88	1582,66	957,02	1981,66	1147,61
1.0x0.8	522,31	370,04	X	X	1528,83	959,98
1.0x0.6	342,30	282,52	X	X	813,10	552,54
1.0x0.5	165,65	136,90	506,71	394,43	X	X

Not: X ile gösterilen değerler temin edilemeyen malzeme kalınlıklarıdır.



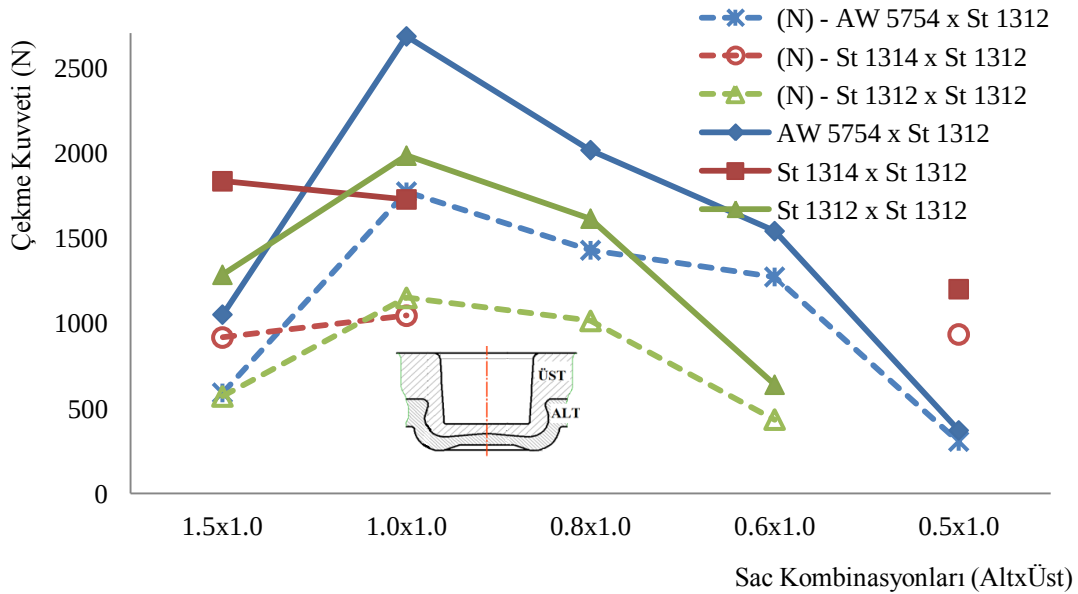
şekil 4.9 1 mm kalınlığındaki St1312 plakaların TSE EN ISO 14273 standardına göre çekme kuvvetleri (1 mm St1312 altta iken).

1 mm St1312 galvanizli sac plakaların TSE EN ISO 14273 standardına göre diğer plakalarla birleştirilmesinde üstte konumlandığında elde edilen sonuçlar ise aşağıdaki Çizelge 4.7'de ve Şekil 4.10'da görülmektedir. Tüm birleştirmelere bakıldığında plaka kalınlıklarının birbirine yakın olduğu durumlarda daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Alüminyum plakanın altta St1312'nin üstte olduğu kombinasyonda 1 mm kalınlığındaki saclarla yapılan bağlantının değerinin ani bir artış gösterdiği Şekil 4.10'da açık bir şekilde görülmektedir. 1,5mmx1mm kombinasyonunda alüminyum ile yapılan bağlantı en düşük değerdeyken, diğer kalınlıklarda alüminyum ile yapılan bağlantılar daha iyi sonuç vermiştir.

Çizelge 4.7 1 mm kalınlığındaki St1312 plakaların TSE EN ISO 14273 standardına göre çekme kuvvetleri (1 mm St 1312 üstte iken)

Alt x Üst (mm)	AW 5754 x St 1312		St 1314 x St 1312		St 1312 x St 1312	
	Çekme Kuvveti (N)	Normalize Edilmiş Kuvvet (N)	Çekme Kuvveti (N)	Normalize Edilmiş Kuvvet (N)	Çekme Kuvveti (N)	Normalize Edilmiş Kuvvet (N)
1,5x1,0	1049,31	590,31	1831,33	915,01	1283,16	569,45
1,0x1,0	2739,66	1769,43	1724,83	1042,99	1981,66	1147,61
0,8x1,0	2013,83	1426,72	X	X	1612,33	1012,41
0,6x1,0	1539,00	1270,22	X	X	638,51	433,90
0,5x1,0	370,47	306,18	1198,70	933,09	X	X

Not: X ile gösterilen değerler temin edilemeyen malzeme kalınlıklarıdır.



Şekil 4.10 1 mm kalınlığındaki St1312 plakaların TSE EN ISO 14273 standardına göre çekme kuvvetleri (1 mm St1312 üstte iken).

Plakaların alt üst yer değiştirmesinde, St1314 ile yapılan bağlantılarda olduğu gibi çekme kuvvetlerinde önemli farklılıklar vardır. İnce sacın altta olduğu durumlarda çekme kuvvetleri daha yüksek değerlerdedir.

1 mm kalınlığındaki St1312 plakanın altta konumlandığı birleştirmelerde; farklı plakaların aynı kalınlıklardaki bağlantılarında, en yüksek çekme kuvvetleri St1312'nin kendisiyle yaptığı bağlantılarda, en düşük çekme kuvvetleri ise alüminyum saclar ile yapılan bağlantılarda ölçölmüştür. 1 mm kalınlığındaki St1312 plakanın üstte konumlandığı bağlantılara bakıldığında, altta konumlandığı birleştirmelerdeki gibi net bir sonuç olmadığı gözlemlenmiştir. 1,5mmx1mm kombinasyonlarında en yüksek değer St1314 ile yapılan bağlantıda ölçölürken, diğer kalınlıklarda alüminyum plakalar ile yapılan bağlantılarda daha yüksek çekme kuvvetleri elde edilmiştir.

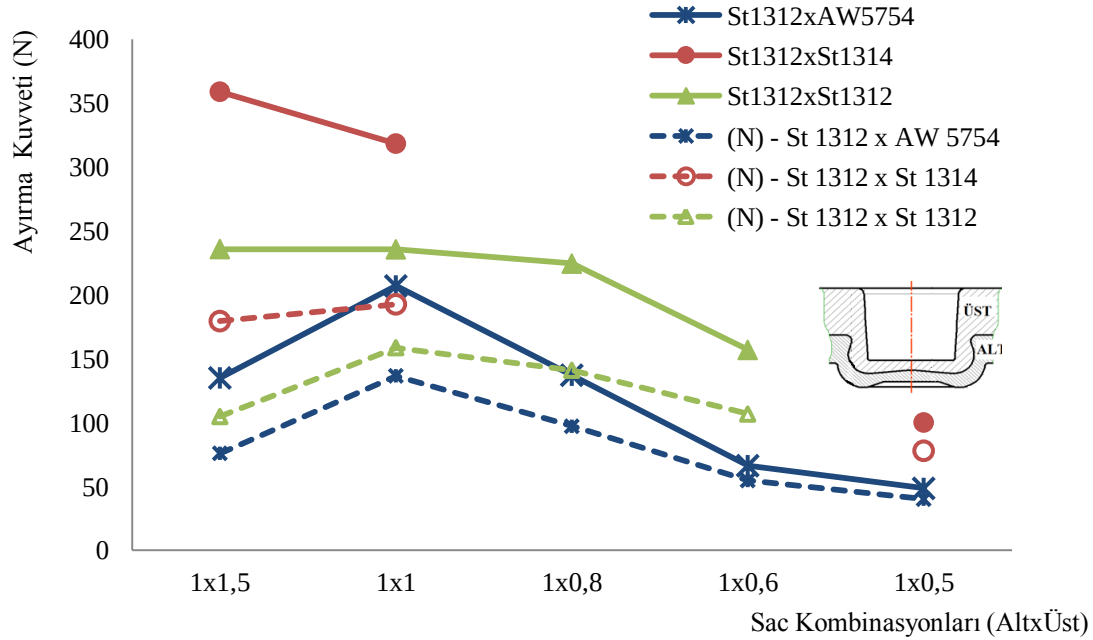
1 mm St1312 galvanizli sacın, TSE EN ISO 14270 standardına göre diğer bağlantı gurupları ile yaptığı birleştirmeler sonucu elde edilen değerler aşağıdaki şekil 4.11'de ve Çizelge 4.8'de de göröldüğü gibi alüminyum ile yapılan birleştirmeler dışındaki bağlantılarda kalınlık düştükçe dayanımda düşmüştür. Alüminyum ile yapılan bağlantılarda ise en iyi sonuç 1 mm alüminyum ile yapılan birleştirmede elde edilmiştir. 0,8 mm kalınlığındaki alüminyum ile yapılan bağlantıda, 1,5 mm kalınlığındaki alüminyum ile yapılan bağlantıdan daha yüksek çekme kuvveti ölçölmüştür. Kalınlıklar arasındaki farklar arttıkça dayanım düşmektedir.

Çizelge 4.8 1 mm kalınlığındaki St1312 plakaların TSE EN ISO 14270 standardına göre ayırma kuvvetleri (1 mm St1312altta iken)

Alt x Üst (mm)	St 1312 x AW 5754		St 1312 x St 1314		St 1312 x St 1312	
	Çekme Kuvveti (N)	Normalize Edilmiş Kuvvet (N)	Çekme Kuvveti (N)	Normalize Edilmiş Kuvvet (N)	Çekme Kuvveti (N)	Normalize Edilmiş Kuvvet (N)
1x1,5	134,93	75,91	359,03	179,39	235,82	104,65
1x1	206,90	136,55	318,43	192,55	235,60	136,44
1x0,8	137,01	97,07	X	X	224,43	140,92
1x0,6	66,18	54,62	X	X	156,85	106,59
1x0,5	48,40	40,00	100,04	77,87	X	X

Not: X ile gösterilen değerler temin edilemeyen malzeme kalınlıklarıdır.

1 mm kalınlığındaki St1312 sac plakaların altta konumlanmasında; 1,5 mm St1314 ve 1,5 mm St1312 ile yapılan bağlantılardaki değerlerin beklenenden daha düşük olduğu normalize edilen kuvvetlerde görülmektedir.



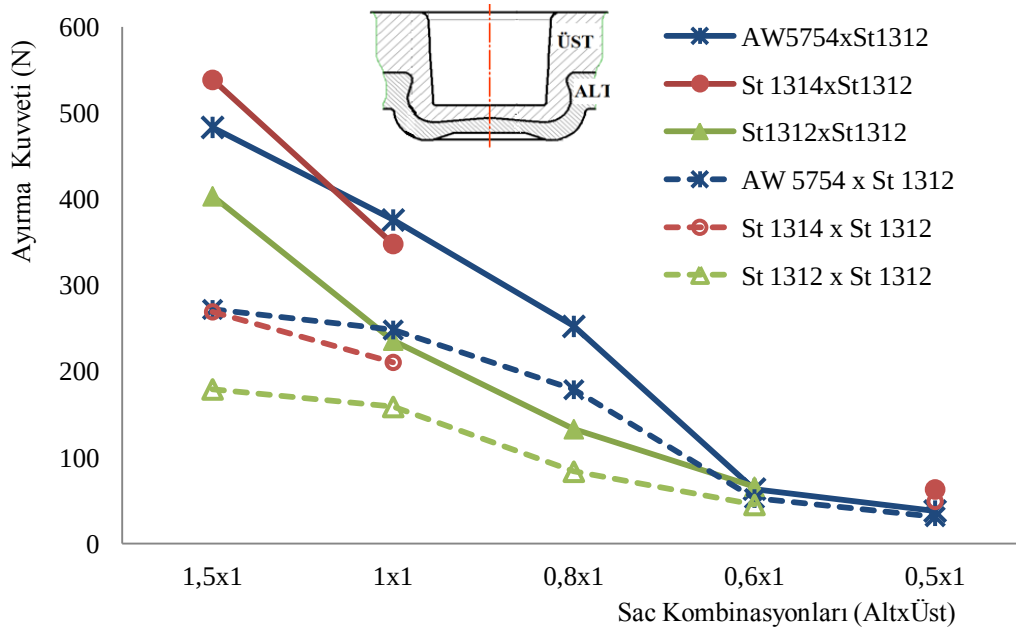
Şekil 4.11 1 mm kalınlığındaki St1312 plakaların TSE EN ISO 14270 standardına göre ayırma kuvvetleri (1 mm St 1312 altta iken).

1 mm kalınlığındaki St1312 plakanın TSE EN ISO 14270 standardına göre üstte konumlandığında elde edilen değerler aşağıdaki Çizelge 4.9'da ve Şekil 4.12'de görülmektedir. Bu kombinasyonlarda, tüm birleştirme gruplarında kalınlığın düşmesi ile dayanım düşmüştür. En iyi sonuçlar genel olarak alüminyumun altta olduğu St1312'nin üstte olduğu durumlarda ölçülmüştür.

Çizelge 4.9 1 mm kalınlığındaki St1312 plakaların TSE EN ISO 14270 standardına göre çekme kuvvetleri (1 mm St 1312 üstte iken)

Alt x Üst (mm)	AW 5754 x St 1312		St 1314 x St 1312		St 1312 x St 1312	
	Çekme Kuvveti (N)	Normalize Edilmiş Kuvvet (N)	Çekme Kuvveti (N)	Normalize Edilmiş Kuvvet (N)	Çekme Kuvveti (N)	Normalize Edilmiş Kuvvet (N)
1,5x1	483,25	271,86	538,38	269,00	403,26	178,96
1x1	375,70	247,96	345,05	210,34	235,6	158,57
0,8x1	252,11	178,61	X	X	132,76	83,36
0,6x1	63,21	52,17	X	X	65,93	44,80
0,5x1	37,70	31,16	62,78	48,87	X	X

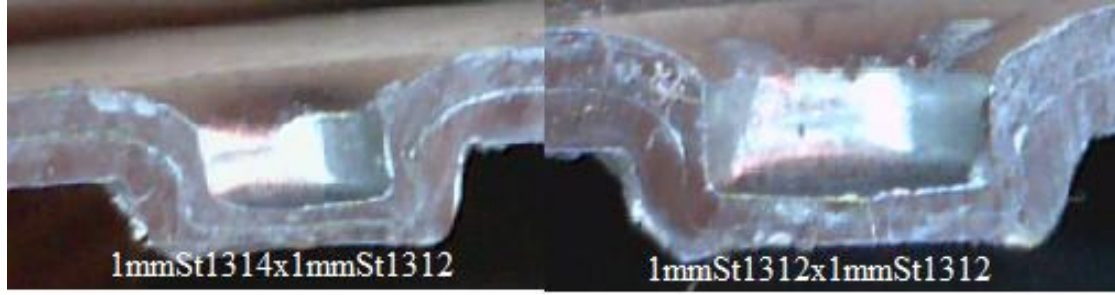
Not: X ile gösterilen değerler temin edilemeyen malzeme kalınlıklarıdır.



Şekil 4.12 1 mm kalınlığındaki St1312 plakaların TSE EN ISO 14270 standardına göre çekme kuvvetleri (1 mm St 1312 üstte iken).

1 mm St1312 galvanizli sacın diğer saclarla yaptığı bağlantılarda TSE EN ISO 14270 standardına göre altta ve üstte konumlanmasını karşılaştıracak olursak, tüm birleşmelerde üstte konumlandığı durumlarda daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

1 mm kalınlığındaki St1312 galvanizli sacların; TSE EN ISO 14273 standardına göre yapılan çekme testleriyle, TSE EN ISO 14270 standardına göre yapılan ayırma (kabuk soyma) testleri karşılaştırıldığında genel olarak uyum görülmektedir. TSE EN ISO 14273 standardına göre yapılan deneylerde St1312'nin kendisiyle yaptığı birleşmeler daha iyi iken, TSE EN ISO 14270 standardına göre yapılan testlerde; bazı kalınlıklarda alüminyum ile yapılan birleşmeler daha yüksek değerlerde kopmuştur, bazı kalınlıklarda da St1314 plakalarla yapılan birleştirmeler daha iyi sonuç vermiştir. Aşağıdaki Şekil 4.13'de de 1 mm St1312 ve 1 mm St1314 arasında yapılan bağlantı görülmektedir. Bağlantılardaki S formuna bakıldığında; St1314 ile yapılan bağlantının azda olsa St1312 ile yapılan bağlantıya göre daha iyi olduğu şekilde görülmektedir. Çekme testleri sonucu ölçülen kuvvetler, ayırma testlerinde ölçülen değerlerden dört kat daha yüksektir, bununla birlikte bazı değerlerde on kat fark olduğu da gözlemlenmiştir.



Şekil 4.13 St1314xSt1312 ile St1312xSt1312 kombinasyonlarının yaptığı bağlantıların kesit görünüşü.

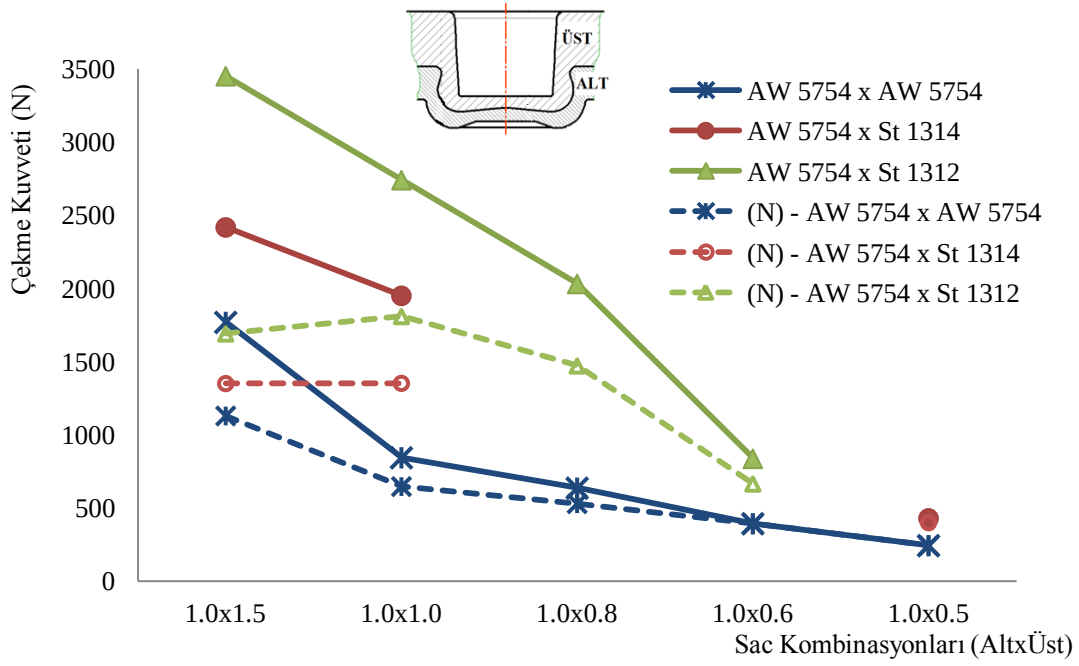
4.4 1 mm Kalınlığındaki AW5754 Plakaların Birleştirilmesi

1 mm kalınlığındaki AW5754 alüminyum sacın TSE EN ISO 14273 standardına göre diğer bağlantı gurupları ile birleştirilmesinde altta konumlandığı birleştirmelerden elde edilen çekme dayanımları aşağıdaki Çizelge 4.10'da ve Şekil 4.14'de görülmektedir. Alüminyum sacın altta konumlandığı durumlarda çizelgede de görüldüğü gibi üstte yer alan plakanın kalınlığı düştükçe çekme dayanımı da düşmektedir. Aynı kalınlıktaki farklı malzemelerin birleştirilmesiyle elde edilen sonuçlarda ise; en iyi birleştirmelerin St1312 çelik sac ile yapılan birleştirmelerde ve en düşük çekme kuvvetleri ise alüminyum saclar ile yapılan birleştirmelerde olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.10 1 mm kalınlığındaki AW5754 plakaların TSE EN ISO 14273 standardına göre çekme kuvvetleri (1 mm AW-5754 altta iken)

Alt x Üst (mm)	AW 5754 x AW 5754		AW 5754 x St 1314		AW 5754 x St 1312	
	Çekme Kuvveti (N)	Normalize Edilmiş Kuvvet (N)	Çekme Kuvveti (N)	Normalize Edilmiş Kuvvet (N)	Çekme Kuvveti (N)	Normalize Edilmiş Kuvvet (N)
1.0x1.5	1768,50	1129,34	2417,16	1350,50	3450,00	1689,74
1.0x1.0	843,46	647,03	1950,00	1352,16	2739,66	1808,14
1.0x0.8	635,98	530,02	X	X	2031,50	1471,07
1.0x0.6	393,01	393,01	X	X	836,95	664,26
1.0x0.5	243,38	243,77	429,73	400,47	X	X

Not: X ile gösterilen değerler temin edilemeyen malzeme kalınlıklarıdır.



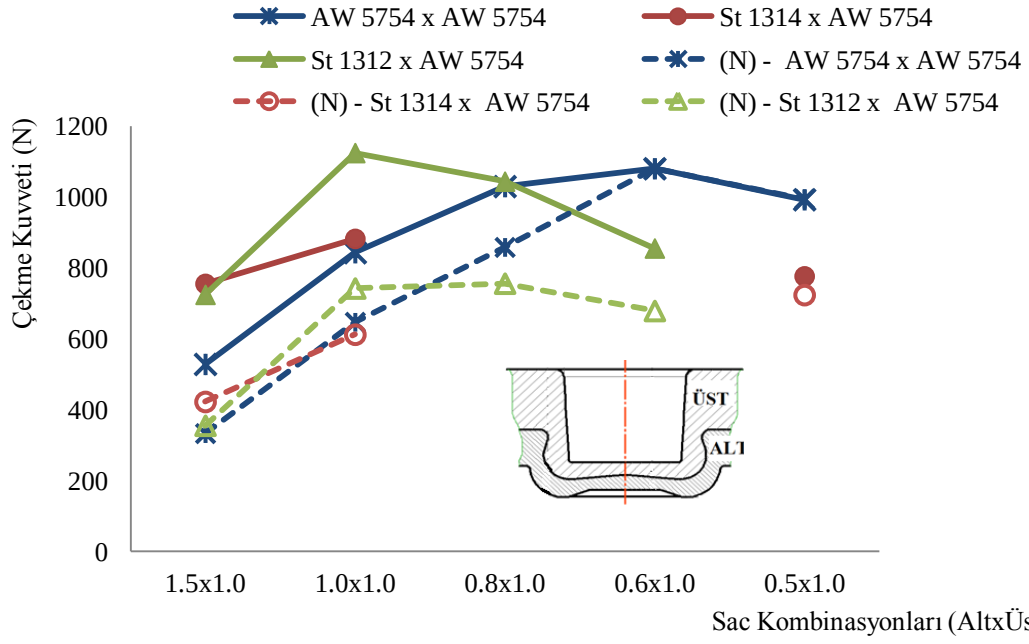
Şekil 4.14 1 mm kalınlığındaki AW5754 plakaların TSE EN ISO 14273 standardına göre çekme kuvvetleri (1 mm AW-5754 altta iken).

1 mm kalınlığındaki AW5754 plakaların TSE EN ISO 14273 standardına göre üstte olduğu durumda, elde edilen sonuçlar aşağıdaki Çizelge 4.11 ve Şekil 4.15’de görülmektedir. Yapılan kombinasyonlarda ölçülen değerler birleştirme guruplarına göre farklılık göstermektedir. Örneğin; 1,5 mm kalınlığındaki bağlantılarda St1312 ile yapılan bağlantı daha iyi iken, 1 mm ve 0,8 mm kalınlıklarında St1314 ile yapılan bağlantılar, 0,6 mm ve 0,5 mm kalınlıklarında da alüminyumun kendisiyle yaptığı bağlantılar daha yüksek çekme kuvvetinde kopmuştur.

Çizelge 4.11 1 mm kalınlığındaki AW5754 plakaların TSE EN ISO 14273 standardına göre çekme kuvvetleri (1 mm AW-5754 üstte iken)

Alt x Üst (mm)	AW 5754 x AW 5754		St 1314 x AW 5754		St 1312 x AW 5754	
	Çekme Kuvveti (N)	Normalize Edilmiş Kuvvet (N)	Çekme Kuvveti (N)	Normalize Edilmiş Kuvvet (N)	Çekme Kuvveti (N)	Normalize Edilmiş Kuvvet (N)
1.5x1.0	528,03	332,71	755,40	422,05	724,50	354,85
1.0x1.0	843,46	647,03	882,48	611,92	1124,83	742,37
0.8x1.0	1030,11	858,49	X	X	1044,08	756,05
0.6x1.0	1080,50	1080,50	X	X	855,38	678,89
0.5x1.0	992,90	994,50	776,68	723,80	X	X

Not: X ile gösterilen değerler temin edilemeyen malzeme kalınlıklarıdır.



Şekil 4.15 1 mm kalınlığındaki AW5754 plakaların TSE EN ISO 14273 standardına göre çekme kuvvetleri (1 mm AW 5754 üstte iken).

Alüminyum plakaların, galvanizli sacların her ikisiyle de yaptığı birleşmelerde 1mmx1,5mm kombinasyonunun değerlerinin 1mmx1mm kombinasyonundan düşük olduğu yani 1mmx1,5mm kombinasyonunun çekme kuvvetinin beklenenden daha düşük bir değer olduğunu normalize edilen değerler göstermektedir.

Daha öncede belirtildiği gibi ince plakanın altta olduğu durumlarda sonuçlar hep daha iyi çıkmıştır. AW5754 plakaların kendisiyle yaptığı birleştirmelerde de ince olan sacın altta olduğu durum, çizelgelerde de görüldüğü gibi, ince sacın üstte olduğu durumlardan çok daha iyi sonuç vermiştir. Galvanizli çelik sac grupları ile yaptığı birleştirmelerde ise alüminyum plakaların altta konumlandığı yani dış formu oluşturduğu durumlarda daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Alüminyum plakaların çelik plakalar ile yaptığı birleştirmelerde St1312 ile olan birleştirmelerde St1314'e göre daha yüksek dayanımlar ölçülmüştür.

Alüminyum sacın TSE EN ISO 14273 standardına göre altta ve üstte olma durumlarını değerlendirdiğimizde; her iki çelik saca olan bağlantılarda da, alüminyum sacın altta olduğu durumlarda daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Şekil değiştirme iç formda daha fazla olmaktadır. Alüminyum sacların sünekliğinin diğer malzemelere göre daha düşük

olması nedeniyle; iç formu oluşturduğu durumlarda özellikle ince sacların içten kırıldığı ya da içteki sacda çatlak oluştuğu gözlemlenmiştir. 0,5 mm ile yapılan bağlantıların hepsinde 0,5 mm kalınlığındaki sacın iç formu oluşturduğunda içte kırılmalar olduğu gözlemlenmiştir. Aşağıdaki Şekil 4.16'da 0,5 mm alüminyum ile 1 mm St1314 arasında yapılan bağlantıda oluşan çatlaklar görülmektedir.



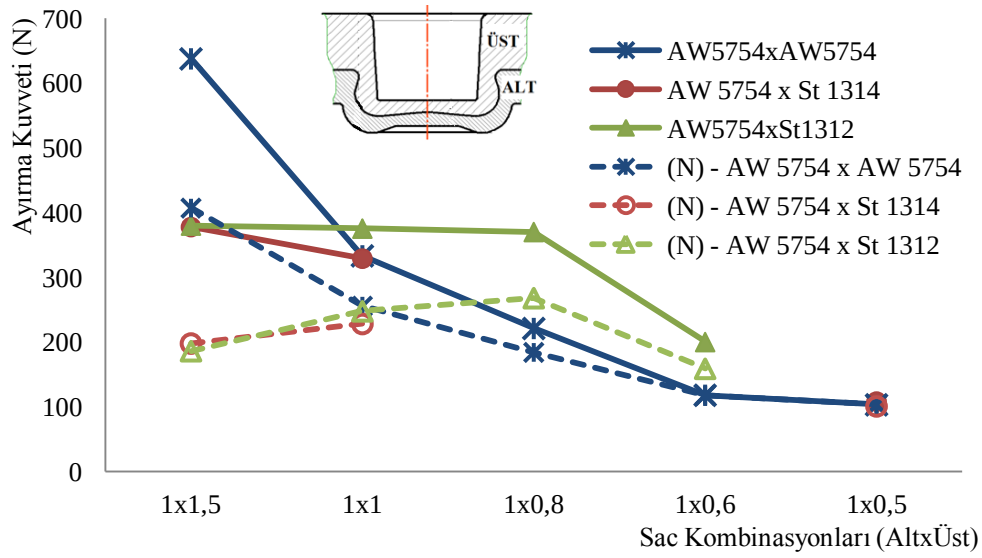
Şekil 4.16 İnce sacların iç formu oluşturduğu bağlantı kesit görünüşü

Aşağıdaki Çizelge 4.12'de, 1 mm kalınlığındaki AW5754 plakalarla diğer grupların TSE EN ISO 14270 standardına göre birleştirilmesinde, 1 mm kalınlığındaki alüminyum sacın altta konumlandığı durumda, elde edilen dayanım değerleri verilmiştir. Tüm bağlantı gruplarında, Şekil 4.17'den de anlaşıldığı gibi kalınlık azaldıkça birleştirmelerin dayanımları da azalmıştır. Bu gruptaki birleştirmelerde en yüksek dayanım alüminyum plakaların kendisiyle yaptığı 1mmx1,5mm kombinasyonunda ölçülmesine rağmen diğer kalınlıklardaki birleştirmelerde St1312 plaka ile yaptığı birleştirmelerin daha iyi olduğu görülmektedir. En düşük dayanım ise alüminyum plakaların, alüminyum plakalar ile yaptığı birleştirmelerde olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.12 1 mm kalınlığındaki AW5754 plakaların TSE EN ISO 14270 standardına göre çekme kuvvetleri (1 mm AW5754 altta iken)

Alt x Üst (mm)	AW5754 x AW5754		AW5754 x St1314		AW5754 x St1312	
	Çekme Kuvveti (N)	Normalize Edilmiş Kuvvet (N)	Çekme Kuvveti (N)	Normalize Edilmiş Kuvvet (N)	Çekme Kuvveti (N)	Normalize Edilmiş Kuvvet (N)
1x1,5	637,93	407,37	378,05	198,12	380,40	186,31
1x1	333,60	255,91	329,28	228,33	375,70	247,96
1x0,8	221,36	184,48	X	X	370,41	268,23
1x0,6	118,20	118,20	X	X	200,41	159,06
1x0,5	103,45	103,62	108,43	101,05	X	X

Not: X ile gösterilen değerler temin edilemeyen malzeme kalınlıklarıdır.



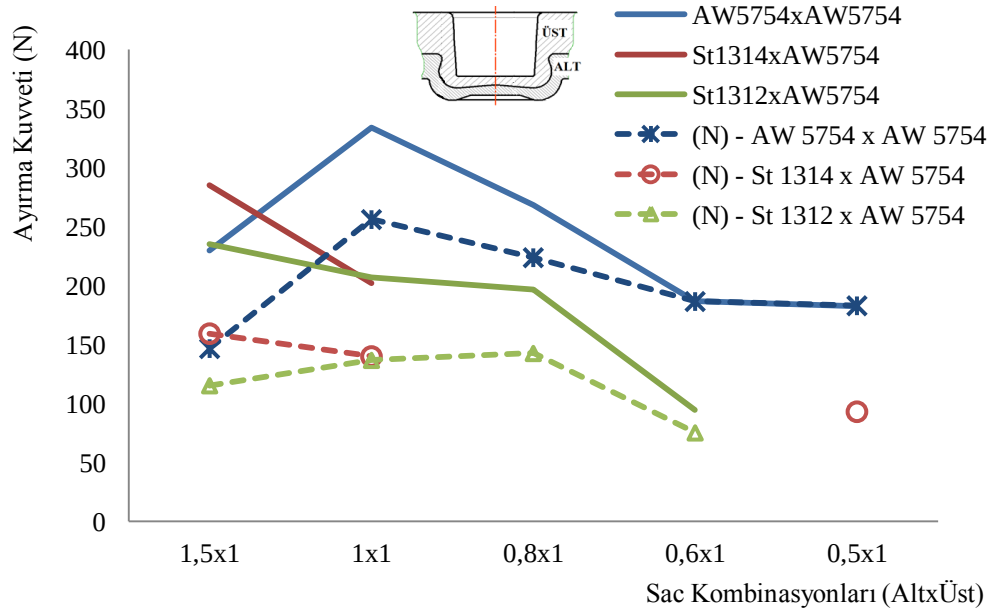
Şekil 4.17 1 mm kalınlığındaki AW5754 plakaların TSE EN ISO 14270 standardına göre çekme kuvvetleri (1 mm AW5754 altta iken).

1 mm kalınlığındaki AW5754 alüminyum sacın iç formu oluşturduğu ve TSE EN ISO 14270 standardına göre yapılan birleştirmelerde elde edilen ayırma kuvvetleri aşağıdaki çizelge 5.13'de ve şekil 5.18'de görülmektedir. Alüminyum plakaların kendisiyle yaptığı birleştirmeler hariç diğer gruplarla yaptığı birleştirmelerde plaka kalınlığı düştükçe dayanımda düşmüştür. Fakat kendisiyle yaptığı birleştirmelerde en iyi birleştirme her iki kalınlığında 1 mm olduğu durumda ölçülmüştür. 1 mm'den düşük kalınlıklarla yapılan birleşmelere bakıldığında ise altta olduğu durumların aksine en iyi birleşmeler kendisiyle yaptıkları, en düşük dayanımlar ise St1312 plakalar ile yapılan birleşmelerde ölçülmüştür.

Çizelge 4.13 1 mm kalınlığındaki AW5754 plakaların TSE EN ISO 14270 standardına göre çekme kuvvetleri (1 mm AW-5754 üstte iken)

Alt x Üst (mm)	AW5754 x AW5754		St1314 x AW5754		St1312 x AW5754	
	Çekme Kuvveti (N)	Normalize Edilmiş Kuvvet (N)	Çekme Kuvveti (N)	Normalize Edilmiş Kuvvet (N)	Çekme Kuvveti (N)	Normalize Edilmiş Kuvvet (N)
1,5x1	229,48	146,54	284,93	159,19	234,86	115,03
1x1	333,60	255,91	201,65	139,83	206,90	136,55
0,8x1	268,30	223,60	X	X	196,65	142,40
0,6x1	186,45	186,45	X	X	94,58	75,07
0,5x1	182,53	182,82	99,80	93,00	X	X

Not: X ile gösterilen değerler temin edilemeyen malzeme kalınlıklarıdır.



Şekil 4.18 1 mm kalınlığındaki AW5754 plakaların TSE EN ISO 14270 standardına göre çekme kuvvetleri (1 mm AW-5754 üstte iken).

Normalize edilen kuvvetler incelendiğinde genellikle 1x1,5 ve 1,5x1 kombinasyonlarının beklenenden daha düşük değerlerde olduğu görülmektedir. TSE EN ISO 14270 standardına göre alüminyum plakaların alt ve üst yer değiştirmesine bakıldığında alüminyum plakanın altta olduğu durumlarda sonuçların daha iyi olduğu görülmüştür. Alüminyum plakaların kendisiyle yaptığı birleşmelerde de ince olan sacın altta olduğu durumlar üstte olduğu duruma göre ortalama iki kat daha iyi olduğu tespit edilmiştir. AW5754 ile St1314 arasında yapılan bağlantılarda plakalarda alt-üst yer değiştirme sonucu elde edilen kesit görünüşler aşağıdaki Şekil 4.19'da görülmektedir. Şekilden de anlaşıldığı gibi alüminyumun altta olduğu durumlarda daha iyi sonuçlar gözlemlenmiştir.



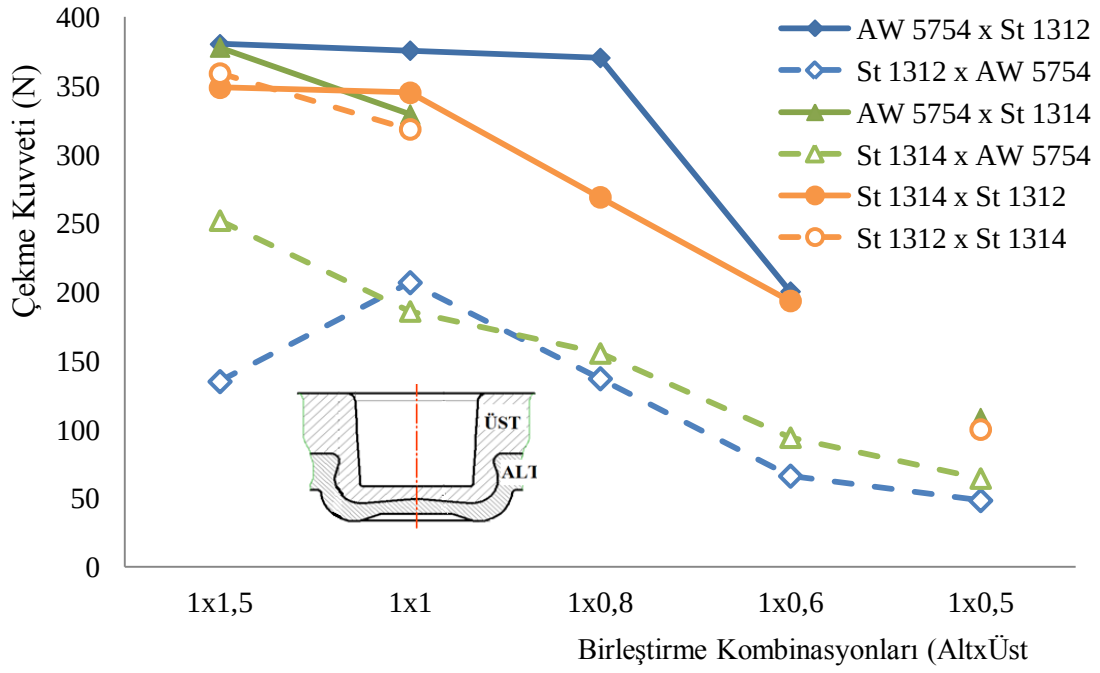
Şekil 4.19 Farklı malzemelerle yapılan bağlantıların kesit görünüşleri

Sonuçlar çekme deneylerindeki birleştirmelerle karşılaştırıldığında, çekme deneyleri ve ayırma (kabuk soyma) deneylerinden elde edilen değerlerin kalınlığa göre oranları birbirini tutmaktadır. Çekme testlerinde en iyi sonuçlar alüminyum plakanın St 1312 ile yaptığı birleştirmelerde ölçülmüş ve en düşük dayanımlar da kendisiyle yaptığı birleştirmelerde görülmüştür. Ayırma (kabuk soyma) testlerinde de alüminyum plakaların kendisiyle yaptığı birleştirmelerde 1,5mmx1mm kombinasyonu en iyi dayanımı vermektedir. 1, 0,8, 0,6 ve 0,5 mm kalınlığındaki sac lar ile yapılan bağlantılarda en düşük dayanım alüminyum ile yaptığı birleştirmelerde ölçülmüştür, bu kalınlıklardaki en iyi dayanımlar ise St1312 ile yapılan birleştirmelerde görülmüştür.

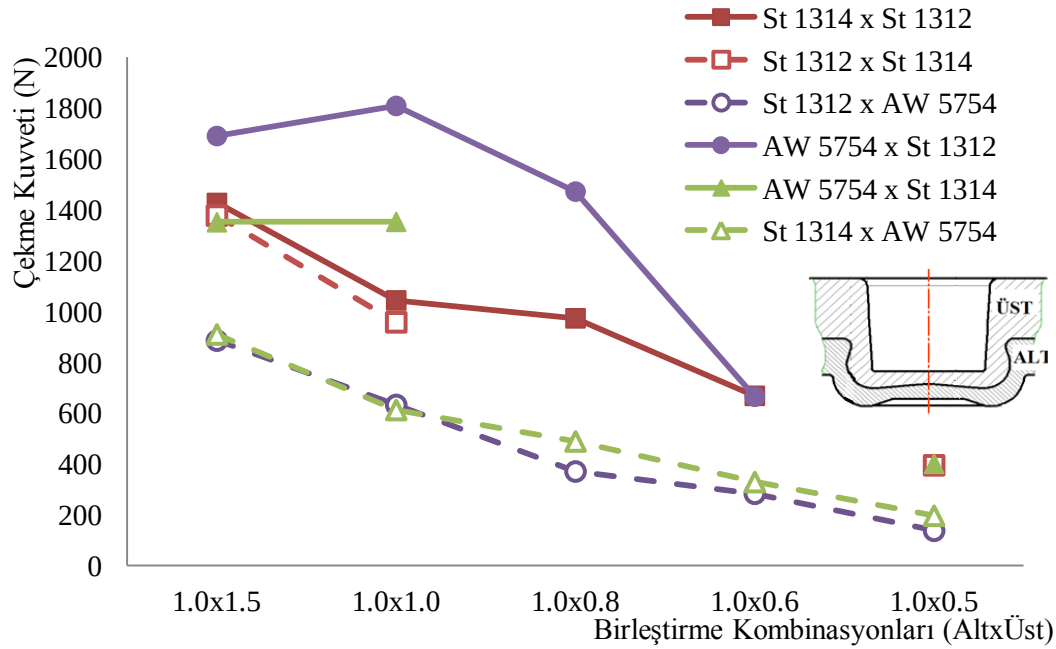
5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada; form punta yöntemiyle birleştirilen, ince sac plakaların mekanik özellikleri incelenmiştir. Yapılan birleştirmelerde; malzemenin etkisini incelemek için; akma dayanımı, çekme dayanımı ve % uzama değerleri farklı olan, üç çeşit malzeme kullanılmıştır. Bunlardan iki tanesi soğuk şekillendirmeye uygun galvanizli çelik sac, diğeri ise alüminyum alaşımlı sac malzemedir. Sac kalınlığının bağlantılara etkisini incelemek içinse her malzeme gurubu için 1 mm'lik sac sabit tutularak diğeri malzeme kalınlıkları ile birleştirmeler yapılmıştır. Birleştirilen malzemeler TSE EN ISO 14273 ve TSE EN ISO 14270 standartlarına göre, AGS-J AUTOGRAPH Universal çekme test cihazında çekmeye maruz bırakılmıştır. Deneyler incelendiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- ✓ Malzeme kalınlığının artmasıyla genellikle bağlantı dayanımı da artmaktadır. Fakat bu durum her malzeme gurubu için geçerli değildir.
- ✓ Malzeme özellikleri birbirine yakın olan sacların bağlantıları daha iyi sonuçlar vermektedir.
- ✓ Kalınlıkları birbirine yakın olan levhaların bağlantılarında da daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Kalınlık farkının artmasıyla, bağlantının dayanımının ters orantılı değiştiği gözlemlenmiştir.
- ✓ Galvanizli sacların (St1312 ve St1314) yaptıkları birleşmelerde St1314'ün altta olduğu durumlarda yani dış formu oluşturduğunda, St1314'ün üstte olduğu duruma göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 5.1).
- ✓ Alüminyum ile galvanizli sacların birleştirilmesinde her iki grupta da yapılan birleşmelerde, alüminyum sacın altta yani dış formu oluşturduğu durumlarda, daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Alüminyumun altta konumlanması yani dış formu oluşturması, üstte konumlanması yani iç formu oluşturmasından, yaklaşık iki kat daha yüksek değerler vermektedir (Şekil 5.2).

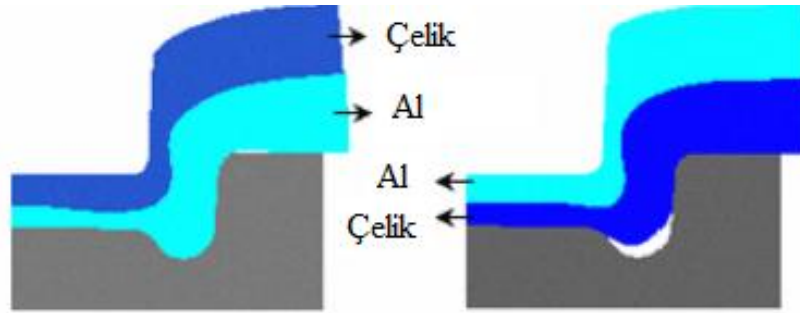


Şekil 5.1 Bağlantı için seçilen plakaların TSE EN ISO 14270 standardına göre altta ve üstte yer almasına göre çekme kuvvetlerinin değişimi



Şekil 5.2 Bağlantı için seçilen plakaların TSE EN ISO 14273 standardına göre altta ve üstte yer almasına göre çekme kuvvetlerinin değişimi

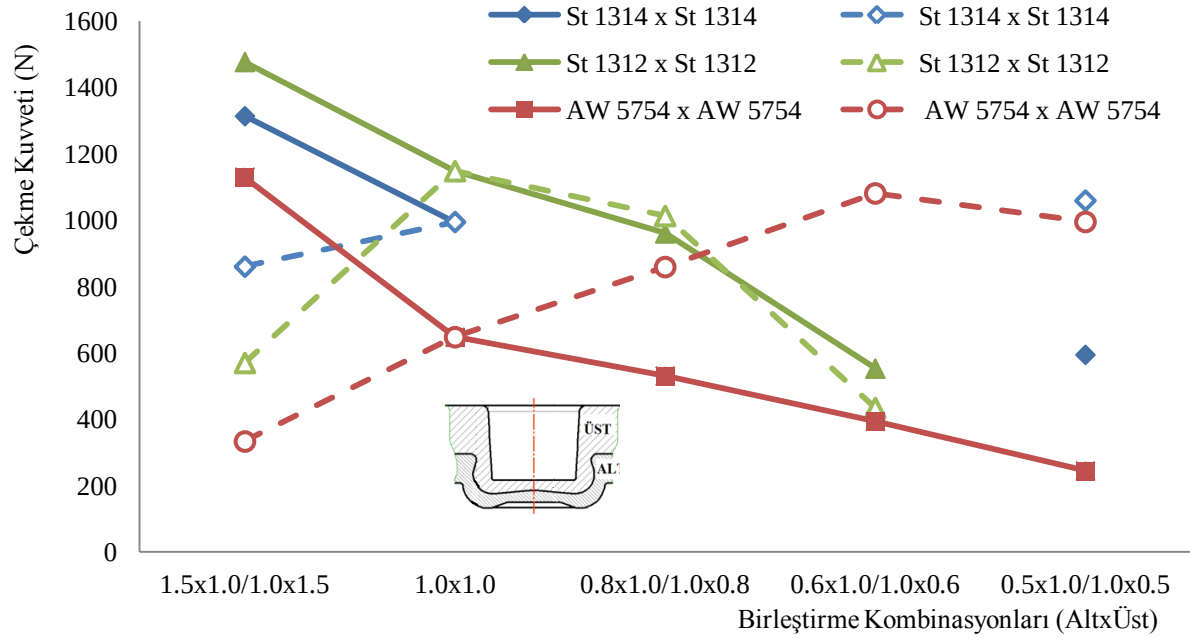
Benzer bir çalışma yapan Zhou (2010) da çelik ve alüminyum plakaların bağlantılarını incelemiştir. İki malzemenin alt üst yer değiştirmesi ile boyun kalınlığında her ne kadar fark fazla olmasa da alt kesme uzunluğunda büyük fark olduğunu tespit etmiştir. Birleştirmelerde plakaların alt üst yer değiştirmesi ile dayanımların yakından ilişkili olduğunu tespit etmiştir. Yaptığı çalışma sonucunda; bizim elde ettiğimiz sonuçların tam tersi şekilde; alüminyum plakanın altta olduğu durumda birleşme şekli tam olarak oluşmasına rağmen; alüminyumun üstte olması, altta olmasından çok daha yüksek değerlerde koptuğunu belirlemiştir (Zhou 2010). Alüminyumun üstte veya çeliğin üstte olması halinde oluşan birleşme formu aşağıdaki Şekil 5.3'de görülmektedir.



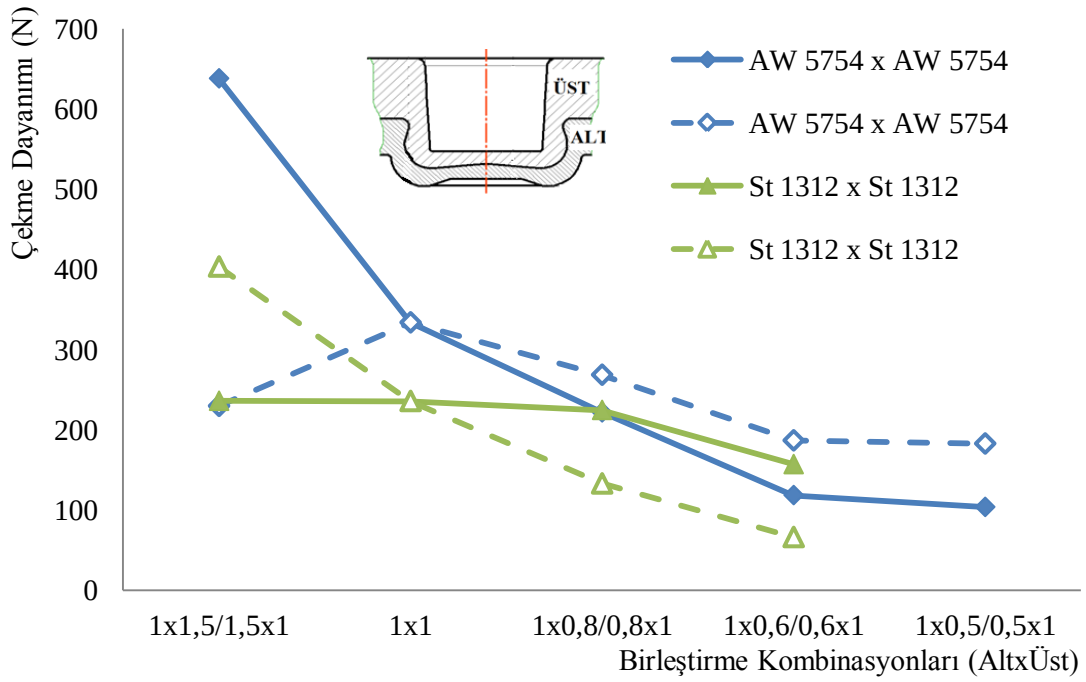
Şekil 5.3 Alüminyum ile çelik arasındaki bağlantının kesit görünüşü (Zhou 2010).

- ✓ TSE EN ISO 14273 standardına göre çekilen plakalarda, farklı kalınlıklardaki birleştirmelerde, ince olan sacın altta olması yani dış formu oluşturması durumunda daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.
- ✓ Yapılan bazı bağlantılarda iki sac arasındaki kalınlık oranı düştükçe bağlantılarda çatlaklar olduğu görülmüştür. Bununla birlikte ince sacın üstte olması durumunda çatlak oluşurken, altta konumlandığında birleşmenin çatlak oluşmadığı belirlenmiştir. Aşağıdaki şekil 5.6'de 0,5 mm alüminyum sacın üstte olduğunda içte oluşan çatlak ve şekil 5.7'de de altta konumlandığı durum görülmektedir.

Aşağıdaki Şekil 5.4'te Şekil 5.5'te her malzeme grubunun kendisiyle yaptığı bağlantılarda 1 mm kalınlığındaki sacın altta ve üstte olma durumunun bağlantıyı ne oranda etkilediği görülmektedir. Şekildeki normal çizgi ile gösterilen değerler 1 mm'nin altta olduğu değerler kesit çizgiyle gösterilenler ise 1 mm'nin üstte olduğu değerlerdir.



Şekil 5.4 TSE EN ISO 14273 standardına göre, aynı malzemelerle yapılan bağlantılarda ince sacın altta veya üstte olma durumu



Şekil 5.5 TSE EN ISO 14270 standardına göre, aynı malzemelerle yapılan bağlantılarda ince sacın altta veya üstte olma durumu

- ✓ Elde edilen en yüksek çekme kuvveti 1 mm alüminyum ile 1,5 mm St1312 arasında olan bağlantıda 3450 N olarak ölçülmüştür. En düşük çekme kuvveti ise 1 mm St1312 ile 0,5 mm alüminyum arasındaki bağlantıda 165 N olarak ölçülmüştür.
- ✓ Ayırma testlerinde ise en yüksek ayırma kuvveti 637 N olarak 1 mm ve 1,5 mm alüminyum arasındaki bağlantıda ölçülürken, en düşük ayırma kuvveti 37,7 N olarak 0,5 mm alüminyum ile 1 mm St1312 galvanizli sac arasındaki bağlantıda ölçülmüştür.

Elde edilen sonuçlara göre birleşmelerdeki iyi ve kötü birleşmelerin kesit görünüşleri aşağıdaki Şekil 5.6 ve 5.7'te görülmektedir. 0,5 mm AW5754 ile 1 mm St1312 arasındaki birleşmede şekilde de görüldüğü gibi içte kırılmalar oluşmuştur. 1 mm ve 1,5 mm St1312 plakaların birleştirilmesiyle de iyi bir birleştirme sağlandığı şekilden de anlaşılmaktadır (Şekil 5.7).



Şekil 5.6 TSE EN ISO 14273 Standardına uygun yapılan deneylerdeki iyi ve kötü birleştirme kesitleri



Şekil 5.7 TSE EN ISO 14270 Standardına uygun yapılan deneylerdeki iyi ve kötü birleştirme kesitleri

Bu tez çalışmasında; dairesel formlu tek tip takım kullanılarak, seçilen farklı tür ve kalınlıklardaki plakalar, değişik kombinasyonlar oluşturularak form punta yöntemiyle birleştirilmiştir. Bağlantıların mekanik özellikleri araştırılmış ve literatürde yapılan çalışmalarla benzer ve zıt sonuçlar elde edilmiştir. Süneklik, dayanım, kalınlık vb.

birçok parametreye baēlı olan baēlantıların sadece bir ya da iki kritere göre deēerlendirilmesi uygun deēildir. Daha net veriler elde etmek için farklı geometrideki kalıplar ve farklı geometrideki takımlar ile yapılan baēlantılar da incelenmelidir. Özellikle baēlantının kullanılacaēı yere göre beklenen öncelikler doērultusunda malzeme seēimine dikkat edilmelidir.

Seri üretime uygunluēu, kaynak yöntemindeki gibi koku, duman ve gaz içermemesi, maliyetinin düşük olması gibi birçok avantajı bulunan bu tekniēin, özellikle yüksek dayanım istenmeyen yerlerde kullanımı son derece uygundur. Ancak birçok parametreye baēlı olarak baēlantı özelliklerinin deēiēimi, uygulamadan önce mutlak deneysel araētırmayı gerektirmektedir. Sanayide kullanımı öncesinde beklenen baēlantı kalitesinin elde edilmesi için, detaylı olarak araētırma yapılması önemlidir.

6. KAYNAKLAR

- Abe, Y., Mori K. and Kato T. (2012). Joining of high strength steel and aluminum alloy sheets by mechanical clinching with dies for control of metal flow. *Journal of Materials Processing Technology*, **212**: 884–889
- Anık, S., Anık, S. ve Vural, M. (2000) 1000 Soruda kaynak teknolojisi el kitabı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Anonim, 2002a. TSE EN ISO 14270, Nokta, dikiş ve projeksiyon kaynaklarının mekanize soyma deneyi için numune boyutları ve yöntem, 2002. **ICS 25.160.40**, ANKARA.
- Anonim, 2002b. TSE EN ISO 14273, Nokta, dikiş ve projeksiyon kaynaklarının kesme deneyi için numune boyutları ve yöntem, 2002. **ICS 25.160.40**, ANKARA.
- Anonim, 2010. TSE EN ISO 6892-1, Metalik malzemeler – Çekme deneyi, 2010. **ICS 77.040.10**, ANKARA.
- Busse, S., Merklein, M., Roll, K., Ruther, M., Zürn, M. Development of a mechanical joining process for automotive body-in-white production. *Int J Mater Form*, **1**:1059 – 1062.
- Coppieters, S., Cooreman, S., Sol H. and Debruyne, D. (2007) Reproducing the experimental strength of clinched connections with finite element methods. SEM Annual Conference and Exposition, Massachusetts, USA.
- Çekiç, İ. (2007). Otomobillerde gövde birleştirme teknolojileri ve bir uygulama. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

- Çetkin, A. (2010). Otomotiv endüstrisinde kullanılan galvanizli çelik-alüminyum sac form punta bağlantılarının mekanik özelliklerinin araştırılması *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **7**: 25-38
- Eryürek, B., Bodur O., Dikicioğlu, A. (1995). Kaynak Teknolojisinin Esasları, Birsen Yayıncılık, İstanbul.
- Gibmeier, J., Rode, N., Peng, R., Oden, M. and Scholtes, B. (2002). Residual stress in clinched joints of metals. *Materials Science & Processing*, **74**: 1440-1442.
- Gronostajski, Z. and Polak, S. (2009). The application of clinching techniques to joining pact energy absorbing thin-walled aluminum sections. *Archives of Metallurgy and Materials*, **54**: 695-703.
- Jayasekara, V., Min, K. H., Noh, J. H., Kim, M. T., Seo, J. M., Lee, H. Y., Hwang, B.B. (2010). Rigid-plastic and elastic-plastic finite element analysis on the clinching joint process of thin metal sheets. *Metal and Materials International*, **16**: 339-347
- Lee, C. J., Kim, J. Y., Lee, S.K., Ko, D. C., Kim, B. M. (2010a). Design of mechanical clinching tools for joining of aluminum alloy sheets. *Material and Design*, **31**: 1854-1861.
- Lee, C. J., Kim, J. Y., Lee, S.K., Ko, D. C., Kim, B. M. (2010b). Parametric study on mechanical clinching process for joining aluminum alloy and high-strength steel sheets. *Journal of Mechanical Science and Technology*, **24**: 123-126.
- Lorenzo, G.D., Landolfo, R. (2004). Shear experimental response of new connecting systems for cold-formed structures. *Journal of Constructional Steel Research*, **60**: 561–579.

- Mucha, J., Kaščák, L., Spišák, E. (2011). Joining the car-body sheets using clinching process with various thickness and mechanical property arrangements. *Archives Of Civil And Mechanical Engineering*, **11**: 135-148
- Mucha, J. (2011). The analysis of lock forming mechanism in the clinching joint. *Materials and Design*, **32**: 4943–4954.
- Neugebauer, R., Kraus, C., Dietrich S. (2008) Advances in mechanical joining of magnesium. *Manufacturing Technology*, **57**: 283–286.
- Oudjene, M., Ayed, L. B. (2008). On the parametrical study of clinch joining of metallic sheets using the Taguchi method. *Engineering Structure*. **30**: 1782-1788.
- Özcömert, M. (2006). Otomotiv endüstrisinde alüminyum. İstanbul Ticaret Odası, İstanbul.
- Özçilingir, N. ve Şen, İ.Z. (2002). Teknik resim temel bilgiler, Ege Reklam Basım Sanatları Tesisleri, İstanbul.
- Özçilingir, N. ve Şen, İ.Z. (2004). Makine resmi, Ege Reklam Basım Sanatları Tesisleri, İstanbul.
- 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.
- Pedreschi R.F. and Sinha, B.P. (2008). An experimental study of cold formed steel trusses using mechanical clinching. *Construction and Building Materials*, **22**: 921-931.
- Rimašauskas, M. and Bargelis, A. (2005). Framework of consideration productivity for assembling operations in sheet metal working. *ISSN 1392 - 1207 Mechanika*. **55**: 51-55.

- Serfiçeli, Y.S. (1997). Soğuk ve sıcak şekillendirme, Birikim Matbaacılık, Ankara.
- Serfiçeli, Y.S. (2004). Metal işleri meslek teknolojisi 1, Devlet Kitapları Müdürlüğü, İstanbul.
- Uzun, H. (2002). Sert lehimleme prensipleri, Değişim Yayınları, İstanbul.
- Tan, Y., Hahn, O., Du, F. (2005) Process monitoring method with window technique for clinch joining. *ISIJ International*, **45**: 723-729.
- Varis, J. (2003). The suitability of clinching as a joining method for high-strength structural steel. *Journal of Materials Processing Technology* **132**: 242-249.
- Varis, J. and 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
- Varis, J. (2006a). 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. (2006b). Ensuring the integrity in clinching process. *Journal of Materials Processing Technology*, **174**: 277–285.
- He, X. (2010). Recent development in finite element analysis of clinched joints. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. **48**: 607-612.
- Zhou, Y., Lan, F., Chen, J. (2010). Influence of tooling geometric parameters on clinching joint properties for steel-aluminum hybrid car-body structures. *Computer Science and Information Technology*, **5**: 441-445

İnternet Kaynakları

- 1 - http://www.erdemir.com.tr/images/urun_hizmetler/Katalog12_01_2012TR.pdf, 19.07.2011
- 2 - <http://www.cihancivata.com/products.asp?SubCatID=179>, 20.07.2011
- 3 - <http://www.scribd.com/doc/49105358/23/Kenet-Ce%C5%9Fitleri>, 02.01.2012
- 4 - http://ortadogumuhendislik.com/sf-20-5-BACA_SISTEMLERI.html, 20.07.2011
- 5 - <http://tr.wikipedia.org/wiki/Lehimleme>, 12.08.2011
- 6 - <http://www.esmedokum.com/site/index.php/aluminyum/aluminyum5754>, 03.11.2011
- 7 - <http://www.selfclinchingsfasteners.eu/>, 07.10.2011
- 8 - http://www.emhartmedia.com/upload_img/SCF_GB.pdf, 10.10.2011
- 9 - <http://www.tox-us.com/us/products/joining-systems.html>, 18.10.2011
- 10 - www.boellhoff.de, 04.11.2011
- 11 - <http://www.btmcorp.com/tlapps.html#hvac>, 05.12.2011
- 12 - http://www.henrob.com/documents/Introduction_to_SPR.pdf, 25.12.2011

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hülya KAYA
Doğum Yeri ve Tarihi : Dursunbey / 02.01.1988
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 0537 844 66 10 / hulya_012403@hotmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Bursa Osmangazi Çok Programlı Lisesi (2002-2005)
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi (2005-2009)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi (2009-2012)