

**T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ALEVLE DOĞRULTMA İŞLEMİ YAPILIRKEN S460MC
ÇELİKLERİ ÜZERİNDEKİ MUKAVEMET ÖZELLİKLERİNİN
DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yusuf Evrim GÖKALP

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Salim ASLANLAR

Haziran 2019

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ALEVLE DOĞRULTMA İŞLEMİ YAPILIRKEN, S460MC
ÇELİKLERİ ÜZERİNDEKİ MUKAVEMET ÖZELLİKLERİNİN
DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yusuf Evrim GÖKALP

Enstitü Anabilim Dalı

İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 12/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından
oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr.
Salim ASLANLAR
Jüri Başkanı

Dr. Öğr. Üyesi
Nuri AKKAŞ
Üye

Dr. Öğr. Üyesi
Volkan ONAR
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Yusuf Evrim GÖKALP

12/06/2019

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimin boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Salim ASLANLAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Yine bu çalışmaların temelini oluşturan 3140843 nolu projeye verdiği destekten ötürü TÜBİTAK'a ve çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneysel faaliyetlerde ve uygulamalarda sağladığı bütün imkanlar için MAN Türkiye A.Ş'ye, yöneticilerime ve çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
ÖZET.....	x
SUMMARY	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
GENEL BİLGİLER	9
2.1. Otobüs İskelet Üretimi	9
2.2. Kaynaklı İmalatta Uygulanan Kaynak Yöntemleri	10
2.2.1. Kavram tanımlamalar	10
2.3. Alevle Doğrultma	10
2.3.1. Alevle doğrultmada ısının etkisi	10
2.3.1.1. Isıl genleşmenin engellenmesiyle ısınan bölgenin şişmesi	11
2.3.2. Soğuma sonrası büzülme ve kısılma	11
2.3.3. Alevle doğrultmada kullanılan cihazlar	11
2.3.3.1. Nominal kaynak düzeneğinin tek alevli üfleci.....	11
2.4. Kaynak Sonrasında Titreşim ile Gerilim Giderme ve Sonlu Elemanlar Modellemesi.....	12
2.4.1. Kaynak artık gerilim modellemesi.....	13
2.4.2. Termal analiz	14
2.4.3. Kaynak gerilim analizi.....	15

2.4.4. Rezonanssız titreşim ile gerilim giderme.....	16
2.4.4.1. Titreşim zamanının gerilim azaltmadaki etkisi.....	17
2.4.4.2. Titreşim genliğinin gerilim azaltmadaki etkisi	18
2.4.5. Rezonanslı titreşim ile gerilim giderme.....	20
2.4.5.1. Doğal frekans analizi.....	20
2.4.5.2. Yük-frekansın yer değiştirme genliğine etkisi	20
2.4.5.3. Yer değiştirme genliğine yük-büyükölük etkisi.....	22

BÖLÜM 3.

MATERYAL VE YÖNTEM	24
3.1. Genel Bilgi	24
3.2. Üretimde İş Etüdünün Yapılması	25
3.3. Otobüs Arka Taban Üretim Yöntemi	28
3.3.1. Geleneksel yöntem ile arka taban komponent üretimi.....	31
3.3.1.1. Geleneksel yöntemle yapılan üretimde doğrusallık kontrolü.....	32
3.3.1.2. Geleneksel yöntemle yapılan üretimde doğrusallığın sağlanması	34
3.3.1.2.1. Çekiçleme	34
3.3.1.2.2. Balyozlama	35
3.3.1.2.3. Çektirme ve gerdirme	35
3.3.1.2.4. Alevle doğrultma	36
3.4. Titreşim ile Gerilim Giderme Yöntemi Kullanılarak Arka Taban Komponent Üretimi	37
3.5. VSR’li ve VSR’siz Robotla Kaynak Uygulaması	40
3.6. Çekme Testi.....	45
3.6.1. İlk ölçü uzunluğu	45
3.6.2. Son ölçü uzunluğu	45
3.6.3. Kalıcı uzama yüzdesi	45
3.6.4. Kopmada uzama yüzdesi	45
3.6.5. Kesit daralma yüzdesi.....	46
3.6.6. En büyük yük	46
3.6.7. Gerilme	46
3.6.8. Çekme dayanımı	46
3.6.9. Akma gerilmesi.....	46
3.6.10. Üst akma gerilmesi	46

3.6.11. Orantısız uzama gerilmesi	47
3.6.12. Belirgin uzama gerilmesi	47
3.6.13. Testte kullanılan cihazlar	47
3.7. Çapılma ve Artık Gerilme Analizi	47
3.7.1. Clash analizinin yapılması	47
3.7.2. Shell metot için ara yüzeylerin hazırlanması	49
3.7.3. Malzeme karakterizasyonu	51
BÖLÜM 4.	
ARAŞTIRMA BULGULARI	55
4.1. Alevle Doğrultma İşlemi	55
4.1.1. Alevle doğrultma işlemi yapılmış malzeme karakterizasyonu	55
4.2.1. Alevle doğrultma işlemi yapılmamış malzeme karakterizasyonu	58
4.3. Geleneksel Yöntem ile Titreşimle Gerilim Giderme Yönteminin Karşılaştırılması	61
4.3.1. VSR'li ve VSR'siz robotla kaynak uygulama karşılaştırma sonuçları	64
4.4. Çapılma ve Artık Gerilme Analiz Sonuçları	67
BÖLÜM 5.	
TARTIŞMA VE SONUÇ	73
KAYNAKLAR	76
ÖZGEÇMİŞ	79

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

HAZ	: Heat Affected Zone
P.Z.	: Proper Zone
PWHT	: Post Weld Heat Treatment
VSR	: Vibration Stress Relief



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Otobüs iskelet bileşenleri / komponentleri	1
Şekil 2. Otobüs iskelet komponentlerinde çarpılma sonucu karşılaşılan durum	3
Şekil 3. Otobüs iskelet üretimi	8
Şekil 4. Parçada ısı genleşme ve engelleyici ekipman.....	11
Şekil 5. Üfleç ucu seçimi	12
Şekil 6. Titreşim ile gerilim giderme düzeneği.....	12
Şekil 7. Kaynak numunesi	13
Şekil 8. Sıcaklığa bağlı malzeme özellikleri.....	13
Şekil 9. Kaynak numunesi için bir sonlu eleman örgüsü.....	14
Şekil 10. Goldak'ın elipsoit modelinin tasarımı (Şekil 5).....	15
Şekil 11. Sıcaklık dağılımı ($t=6,75$ saniye) (Şekil 6).....	15
Şekil 12. Kaynak artık gerilim dağılımı (Şekil 6).....	16
Şekil 13. Titreşim ile gerilim gidermenin 2 boyutlu gösterimi (Şekil 7).....	17
Şekil 14. Titreşim zamanının boylamsal artık gerilim azaltma üzerindeki etkisi (Şekil 8)	18
Şekil 15. Titreşim genliğinin artık gerilim azaltmadaki etkisi (Şekil 9).....	19
Şekil 16. Doğal frekans modu (Şekil 10).....	20
Şekil 17. Yer değiştirmede yük-frekans etkisi (Şekil 11)	21
Şekil 18. Kuvvet büyüklüğünün yer değiştirme genliği üzerindeki etkisi (Şekil 12).....	22
Şekil 19. Rezonanslı titreşim ile kaynak artık gerilimini giderme (Şekil 13)	23
Şekil 20. Otobüs tavan iskeleti üretim iş etüdü.....	26
Şekil 21. Otobüs ön duvar iskeleti üretim iş etüdü	26
Şekil 22. Otobüs ön taban iskeleti üretim iş etüdü.....	26
Şekil 23. Otobüs orta taban iskeleti üretim iş etüdü.....	27
Şekil 24. Otobüs arka taban iskeleti üretim iş etüdü.....	27
Şekil 25. Otobüs yan duvar iskeleti üretim iş etüdü.....	27

Şekil 26. Otobüs arka duvar iskeleti üretim iş etüdü	28
Şekil 27. Arka taban komponentinin tabandaki konumu	28
Şekil 28. Arka taban fikstürü	29
Şekil 29. Arka tabanın fikstür içindeki görünümü	30
Şekil 30. Ters kaynak fikstürü ve arka taban komponenti	30
Şekil 31. Geleneksel yöntemle kaynatılan arka tabanın ölçüm sonucu	32
Şekil 32. Ön ve arka direklerin eğimlerinin şablon ile kontrolü	33
Şekil 33. Ön ve yan cam yuvalarının yükseklik, genişlik ve diyagonal ölçülerinin metre ile kontrolü	33
Şekil 34. Yan duvar cam yuvalarının şablon ile kontrolü	34
Şekil 35. Çekiçle doğrultma işlemi	34
Şekil 36. Balyozla doğrultma işlemi	35
Şekil 37. Çektirme ve gerdirme	36
Şekil 38. Tavlama alevi	36
Şekil 39. Tavlamanın yapılması	37
Şekil 40. Tavlama sonrası görüntü	37
Şekil 41. Arka taban üzerinde ivme ölçerlerin konumu	38
Şekil 42. Uygulanan frekans değerinin cihaz ekranı üzerindeki görüntüsü	39
Şekil 43. İvme ölçerin (solda) ve titreştiricinin (sağda) arka taban üzerindeki konumları	39
Şekil 44. Titreşimle kaynak işlemi uygulanmış arka taban komponenti 3 boyutlu ölçüm sonucu	40
Şekil 45. Sac alın kaynağı test kriterleri	41
Şekil 46. Sac köşe kaynağı test kriterleri	41
Şekil 47. Profil alın kaynağı test kriterleri	42
Şekil 48. Robotla VSRli-VSRsiz kaynak çalışmaları test parametreleri	42
Şekil 49. VSR'li robotla kaynak uygulaması	43
Şekil 50. VSR'li robotla kaynak uygulaması	44
Şekil 51. VSR'li robotla kaynak uygulama örnekleri	44
Şekil 52. Catia V5 clash analizi	48
Şekil 53. Clash analizi ile bulunan hata örneği	48
Şekil 54. Shell metot için çıkarılan ara yüzeyler	49

Şekil 55. Kaynak bölgesi mesh yapısı.....	50
Şekil 56. Mesh yapısı detay	50
Şekil 57. S315MC çeliğin çekme sonucu	52
Şekil 58. S460MC çeliğin çekme sonucu	52
Şekil 59. Spektral analiz cihazı	53
Şekil 60. Spektral analizi yapılan numune parçaları.....	53
Şekil 61. S315MC ve S460MC çeliklerinin kimyasal analizleri	54
Şekil 62. European Steel Business Group'un 2019 yılı veri tabanındaki, termomekanik olarak haddelenmiş çeliklerin kimyasal kompozisyonu	54
Şekil 63. Alevle doğrultma işlemi yapılmış malzemede spektral analiz sonucu	55
Şekil 64. Tavlanıp dövürülmüş geniş yüzeye (yüzey normali kuvvet ile paralel) ait optik mikroskop görüntüsü, 500x büyütme	56
Şekil 65. Tavlanıp dövürülmüş geniş yüzeye ait optik mikroskop görüntüsü, 1000x büyütme.....	56
Şekil 66. Tavlanıp dövürülmüş yan yüzeyine(yüzey normali kuvvete dik) ait optik mikroskop görüntüsü, 500x büyütme	57
Şekil 67. Tavlanıp dövürülmüş yan yüzeye ait optik mikroskop görüntüsü, 1000x büyütme.....	57
Şekil 68. Alevle doğrultma işlemi yapılmamış malzemede spektral analiz sonucu	58
Şekil 69. İşlem görmemiş profilin geniş yüzeyine (yüzey normali kuvvet ile paralel) ait optik mikroskop görüntüsü 500x	58
Şekil 70. İşlem görmemiş profilin geniş yüzeyine ait optik mikroskop görüntüsü 1000x.....	59
Şekil 71. İşlem görmemiş profilin yan yüzeyine(yüzey normali kuvvete dik) ait optik mikroskop görüntüsü 500x	59
Şekil 72. İşlem görmemiş profilin yan yüzeyine(yüzey normali kuvvete dik) ait optik mikroskop görüntüsü 1000x	60
Şekil 73. Tavlanıp, dövülmüş S315MC numunesi ve numuneye ait çekme deneyi eğrisi.....	61
Şekil 74. Tavlanıp, dövülmüş S460MC numunesi ve numuneye ait çekme deneyi eğrisi.....	61

Şekil 75. Arka taban titreşimsiz ve titreşimli x, y, z eksenleri ortalama çarpılma yüzdeleri.....	62
Şekil 76. Titreşim uygulanmış (solda) ve titreşim uygulanmamış (sağda) numunelerin mikro yapı analizi sonuçları.....	62
Şekil 77. Titreşim uygulanmamış (solda) ve titreşim uygulanmış (sağda) kaynak dikişi makro kesiti.....	63
Şekil 78. Sac alın kaynağı 3 boyutlu ölçüm karşılaştırma	65
Şekil 79. Sac köşe kaynağı 3 boyutlu ölçüm karşılaştırma.....	66
Şekil 80. Profil alın kaynağı 3 boyutlu ölçüm karşılaştırma.....	67
Şekil 81. Kaynak sonrası ısıl dağılım haritası-1.....	68
Şekil 82. Kaynak sonrası ısıl dağılım haritası-2.....	68
Şekil 83. 200 saniye sonra oluşan MPa cinsinden iç gerilmeler	69
Şekil 84. 600 saniye sonra oluşan MPa cinsinden iç gerilmeler	69
Şekil 85. Martensit Östenit oranı	70
Şekil 86. Ferrit Östenit oranı.....	70
Şekil 87. Beynit Östenit oranı	71
Şekil 88. Simülasyon sonucu 6,68 mm ye kadar çarpılma sonucu	72
Şekil 89. Üretim sonucu elde edilen komponentin 3 boyutlu ölçümde 6,62 mm ye kadar çarpılma sonucu	72
Şekil 90. İç yapı analizleri.....	74

ALEVLE DOĞRULTMA İŞLEMİ YAPILIRKEN S460MC ÇELİKLERİ ÜZERİNDEKİ MUKAVEMET ÖZELLİKLERİNİN DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Ticari araç kategorisinde ülkemizde de faaliyet gösteren otobüs üretim tesislerinde, otobüs temel iskelet yapısı, çeşitli profillerin fikstürler üzerinde kaynakla birleştirilmesiyle elde edilen komponentlerden oluşmaktadır. Komponentlerin oluşturulması esnasında yapılan kaynak işlemleri, malzeme üzerinde yüksek ısı girdisi oluşturmaktadır. Yüksek ısı girdisi ise çarpılmalar yani parçalarda plastik deformasyona neden olmaktadır. İskeletteki bu çarpılmalar, otobüsün mekanik, iç ve dış donanım parçalarının montajlarında probleme neden olduğu için düzeltilmesi gerekmektedir. Çarpılmalar, ilgili bölgelerin tavlama ve dövme ile düzeltilmektedir. Bu yöntem geleneksel olarak uygulanan bir yöntemdir. Yapılan incelemeler sonucu bu işlemlerin malzeme yapısının zayıflamasına neden olduğu yani mukavemetinin olumsuz etkilendiği gözlemlenmiştir. Statik ve dinamik yüklere maruz kalan otobüs iskelet yapısı için bu durum, yorulma dayancını da olumsuz etkileyeceği için istenmeyen bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır.

Geleneksel olarak uygulanan tavlama ve dövme ile kaynak sonrasında uygulanan işlemde olduğu gibi, rezonanslı ve rezonanssız titreşimler aracılığıyla kaynak alanı çevresinde plastik deformasyon yaratarak kaynaklanmış yapılardaki artık gerilme giderilebilmektedir. Titreşim ile gerilim gidermenin sahip olduğu genlik ne kadar büyükse, uygulama da o kadar iyi olduğu bilinmektedir.

Hem ek işçiliğe neden olan hem de ürün kalitesinde düşüşe neden olan geleneksel yani tavlama ve dövme işlemi ile çarpılmaların giderilmesi işlemine alternatif olarak yaygın olarak kullanılmayan fakat daha verimli ve ürün kalitesinde daha başarılı sonuçlar elde edilebilecek olan titreşimle gerilim giderme ile çarpılmaların giderilme yöntemi değerlendirilmeye alınacaktır. Bu iki farklı yöntemin ele alınacağı makalede ilgili kaynak parametreleri ve 2 farklı yöntemdeki farklı girdi değişkenlikleri incelemeye alınıp değerlendirilecektir. Sonuç olarak elde edilen çıktıların karşılaştırılmaları neticesinde ürün kalitesindeki değişiklik ve de işçilik kazancı açısından veriler sunulacaktır.

Anahtar kelimeler: Otobüs üretimi, kaynak, çarpılma, titreşimle gerilim giderme, tavlama ve dövme

INVESTIGATION OF CHANGES IN STRENGTH PROPERTIES OF S460MC STEELS DURING STRAIGHTENING PROCESS WITH FLAME

SUMMARY

The main bus skeleton structure consists of the components which are obtained by welding various profiles on fixtures in the bus manufacturing facilities which are operating in commercial vehicle category in our country. Welding processes which are conducted during the formation of the components generate high heat input on material. This high heat input causes distortions, in other words, plastic deformation on the parts. These distortions on the skeleton should be restored due to the fact that these distortions cause problems during the assembly of mechanic, internal and external components. Distortions are restored by annealing and forging the corresponding parts and areas. This method is a traditionally applied method . As a result of the investigations, it has been observed that these processes cause the material structure to weaken, in other words the strength of the material is adversely affected. This is an unfavourable situation for the bus skeleton structure which is exposed to static and dynamic loads because it affects fatigue strength negatively.

As with the conventional application of annealing and forging after welding, the residual stress in welded structures can be eliminated by creating plastic deformation around the welding area by means of resonance and non-resonant vibrations. The greater the amplitude of vibration stress relief is, the better the application is.

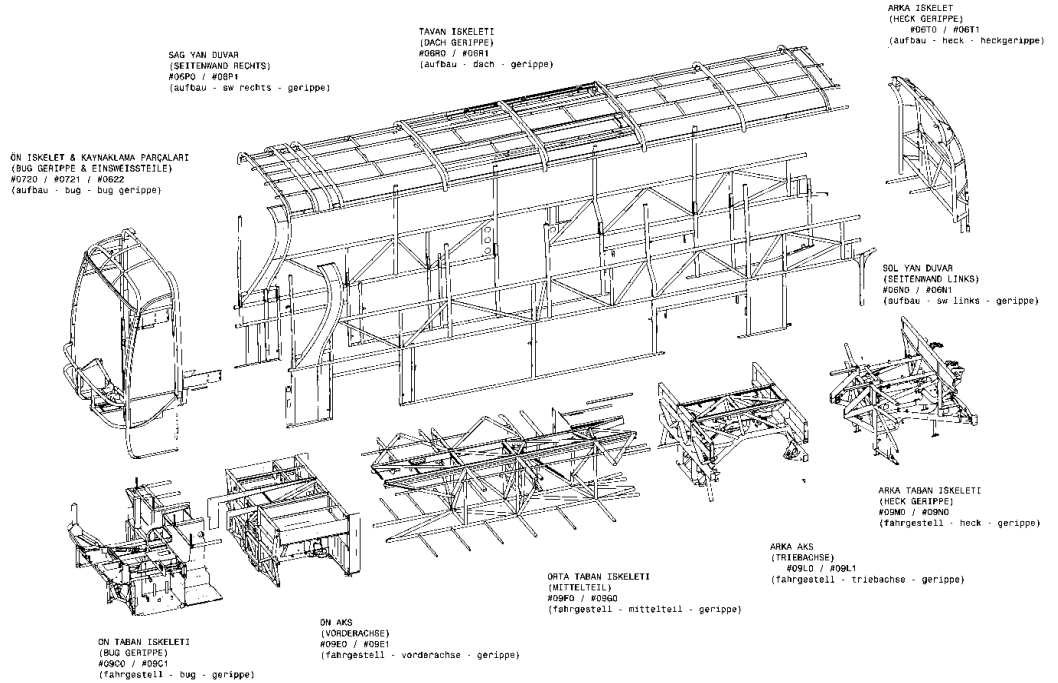
As an alternative to elimination of distortions with traditional method, in other words, relief of distortions by annealing and forging, which causes additional labor force and decrease in product quality, vibratory stress relief method which is not widely applied but can improve the product quality and increase efficiency will be taken into consideration. The relevant welding parameters and different input variables affecting these two different methods will be examined and evaluated in this article which will mainly discuss these two methods. As a result of the comparison of the outputs, the data will be presented with regards to product quality change and labor force gain.

Keywords: Bus manufacturing, welding, distortion, vibratory stress relief method, annealing and forging

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Otobüs iskeleti; ön, orta, arka taban, sağ-sol yan duvar, ön-arka duvar ve tavandan oluşmaktadır. Bu bileşenler de temel olarak farklı ebatlardaki (kalınlık, uzunluk) profillerin gaz altı kaynak işlemleri ile birleştirilmesiyle oluşturulmaktadır. Bu iskelet bileşenleri sabit bir kaynak fikstürü üzerinde metal profillerin birbirine kaynaklı birleştirilmesiyle oluşturulmaktadır.

Üretimde genel olarak kullanılan ve bu çalışmalar kapsamında üretimde yapılan işlemler entegre tel sürme ünitesi ile kompakt invertör kaynak makinesi ile gerçekleştirilmiştir. Kaynak teli ise, AS SG3 1 mm çapındadır. Kullanılan gaz karışımı ise ArCO18'dir.

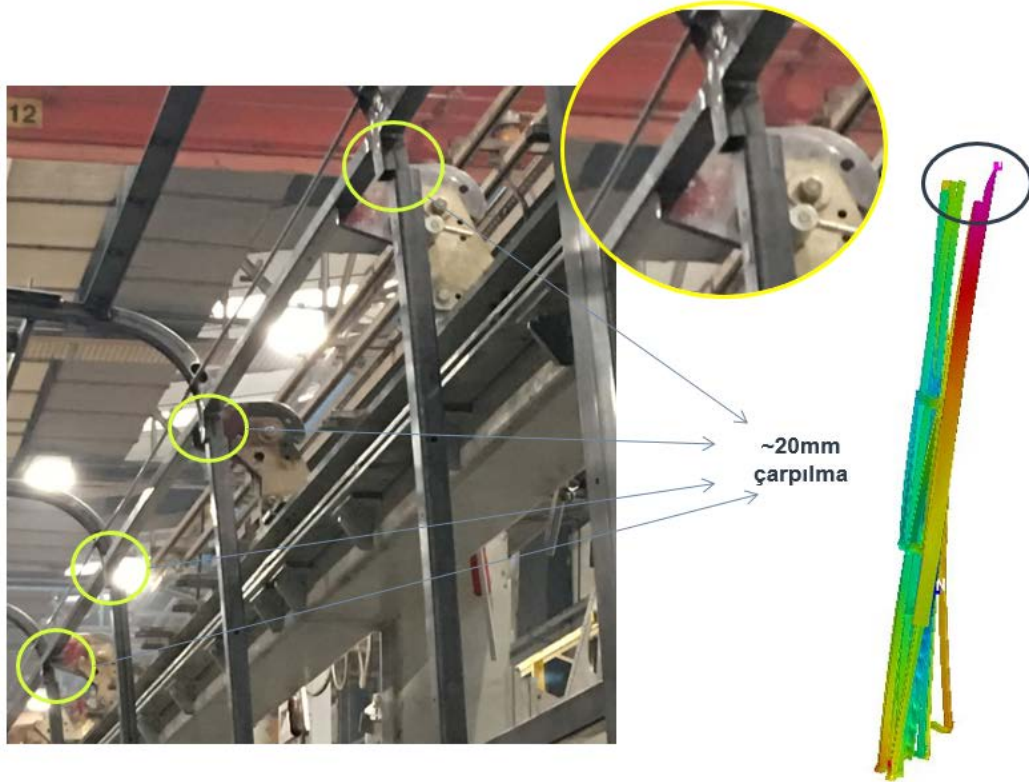


Şekil 1. Otobüs iskelet bileşenleri / komponentleri

Şekil 1.'de verilen resim, standart, genellikle şehirler arası kullanılan, MAN markalı, Lion's Coach model seyahat otobüsüne ait iskelet resmidir. Bu resimde de belirtildiği üzere, genel olarak bir otobüsün alt yapısını oluşturan ve bu yapı üzerine fonksiyonel ve görsel tüm parçaların sabitlenmesini sağlayan komponentler başlıca: Ön iskelet, sağ ve sol yan duvar, tavan, arka iskelet, arka taban, arka aks, orta taban, ön aks ve ön taban iskelet gruplarıdır. Bu iskelet grupları veya komponentleri farklı fikstürler üzerinde toplandıktan sonra, arka, ön ve arka taban komponentleri bir araya getirilerek araç taban iskelet grubunu oluşturmaktadır. Taban iskeletine genel olarak motor, radyatör, pnömatik ve hidrolik sistemler, aks, iklimlendirme ve elektrik tesisatları gibi mekanik akşamların montajı yapılmaktadır. Sağ ve sol yan duvar komponentleri fikstürlerde ayrı ayrı tek parça olarak kaynatılır. Tüm komponentler bir araya getirildikten sonra yan duvarların üzerine yan duvar sacları kaynatılır. Yan duvarlar üzerine bagaj ve bakım kapakları, kapılar, camlar takılır. Ön ve arka duvar iskeletleri de yine farklı fikstürlerde tek parça olarak çıkarılır. Bunlar da direk çatma bölümüne gönderilir. Bu komponentler araç görselini belirleyen dış donanım parçalarında ön ve arka maske, tamponlar, far kapamaları, far, cam vb. parçalar monte edilmektedir. Tavan komponenti yine tek parça olarak kaynak fikstüründe tamamlanır. Tamamlanan parça çatma işlemi için ilgili istasyona gönderilir. Bu komponent üzerine, araç iklimlendirme elemanı olan hava kanalı montajı yapılır. Tavan iç kapamaları, acil çıkış ve tavan camları vb. parçalar takılır. Tüm bu komponentler, müşteri tarafından seçilebilen önceden belirlenmiş opsiyonlar doğrultusunda değişiklik gösterebilmektedir. Örneğin, yan duvarlar tek bir araç modeli için, araç koltuk yerleşiminden dolayı değişiklik gösteren araç kapı konumları, müşterinin lift talebi vb. nedenlerden dolayı değişiklik gösterebilmektedir. Önceden belirli olan farklılıkların yanı sıra, araç bazlı müşterinin diğer talepleri de müşteri isteği olarak adlandırılmakta ve bu istekler doğrultusunda yapılan çalışmalar iskelet komponentlerinde değişikliklere neden olabilmektedir. Çatma sonrasında yapılan doğrultma işlemi sonrasında araç içi ve dışında yer alan ilave kaynak işlemleri yapılmaktadır. Burada sac kaynak işlemleri, ilave tutucu kaynakları, birden fazla komponente kaynatılması gereken parçalardan oluşmaktadır.

Kaynak işlemleri kaçınılmaz olarak, kaynaklı yapılar üzerinde kalıntı gerilimine neden olur. Bu durum boyutsal kararlılık ve yapısal bütünlük açısından potansiyel sorunlara neden olur. Geleneksel olarak, kaynak sonrası ısıtma işlemi (PWHT) kalıntı gerilimlerini

gidermek için etkili bir süreç olsa dahi, bu işlem ısıtma yüzeyinin oksitlenmesine ve malzemelerin mekanik özelliklerinin değişmesine neden olmaktadır. Titreşimle gerilim azaltma, kaynak gerilim kalıntılarını azaltmak için bir diğer alternatif olarak önerilmiştir (Yang, Jung ve Yancey, 2005, para. 2). Titreşim metodu ısıtma işlemi alternatifidir ve bir çok teknik ve ekonomik avantajları sunmaktadır (Prakash, Tewari, 2010, s. 13).



Şekil 2. Otobüs iskelet komponentlerinde çarpılma sonucu karşılaşılan durum

Titreşimle gerilim giderme konusunda kaynak esnasında ve kaynak sonrasında detaylı deneysel çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda laboratuvar ortamında büyük titreşim genlikleri uygulanarak önemli miktarda artık gerilim azalması sağlanmıştır. Fakat titreşimle gerilim gidermede, gerekli titreşim genliği büyük yapılar için büyük öneme sahip olmasına rağmen yapı rezonansının önemi yeterince dikkate alınmamıştır (Yang ve diğerleri, 2005, para. 3). Bir termal gerilim giderme uygulaması esnasında, bir malzemenin akma noktası önemli miktarda düşürülür. Bu durum gerilimlerin plastik akışa sebep olmasını ve artık gerilim seviyesini azaltmasına izin verir (Shankar, 1982, s. 9).

Dawson R. ve arkadaşları tarafından 1980 yılında yapılan titreşimle gerilim giderme çalışmasında soğuk çekilmiş ve sıcak haddelenmiş yumuşak çelikler ve de alüminyum alaşımlardan oluşan komponentlerde mekanik titreşim hemen hemen bütün yüzey gerilim kapasitesine sahip olduğu belirtilmiştir. Aynı zamanda Munsı A. S. M. Y. ve arkadaşlarının 2001 yılında yaptığı çalışmalarda, optik mikroskop ile gördükleri, kaynak sonrası titreşimli işlem kristal yapılarında önemli bir fark yaratmadığıdır.

Sun M. C. ve arkadaşları tarafından 2003 yılında yapılan çalışmalarda kaynak nedeniyle oluşan makro artık gerilimlerin, kaynak dikişine dik olduğu belirtilmiştir. Aynı zamanda diğer bir çalışmalarda makro artık gerilim azaltma, çelik malzemenin bölgesel parçasının plastik deformasyon sonucu ortaya çıkar tespitinde bulunulmuştur.

Titreşimli kaynak koşullandırma, dış yüzeydeki artık çevresel gerilmeyi ve maksimum artık gerilmeyi azaltabilir. Fakat bu koşullandırma, dış yüzeydeki artık eksenel gerilme üzerinde çok az etkiye sahiptir. Kaynaklanmış yapıların güvenliğini iyileştiren titreşimli kaynak koşullandırma kullanıldığında, artık gerilimler verim gücünden daha düşüktür. (Xu, Chen ve Ni, 2006, s. 302)

Jayan K. B. ve arkadaşlarının 2016'da yaptığı çalışmada, alevle ısıtmanın mekanik tepki üzerindeki etkisi ve çeşitli numunelerin vickers sertlik değerleri ile ilişkisi olduğundan bahsedilmiştir. Bunun beraberinde, metal yeniden kristalleşme sıcaklığında uzun bir süre veya daha yüksek bir sıcaklıkta tutulursa, tanecik büyümesi metal kristallerinin ortalama tanecik boyutunun artmasını sağladığı, bunun nedeni ise tanecik sınırlarının mükemmel bir kafesten (örgüden) daha yüksek bir enerjiye sahip olmalarıdır. Bu yüzden tane boyutunu arttırmak ve böylece tanecik sınırlarının alanını azaltmak için bir itici güç vardır. Tane büyüklüğü ne kadar ince olursa, kayma orantılı olduğundan süneklik azalır. Daha büyük taneler durumunda, daha fazla süneklik veren daha büyük miktarlarda kayma meydana gelebilir.

Herhangi bir kaynak işleminin ana sorunlarından ikisi, artık gerilme ve çapılmalar olarak belirtmiştir, Colegrove P. ve arkadaşları 2009 yılında yaptıkları çalışmada. Bunun

sonucunda da büzüşme nedeni, yorulma mukavemetini ve tokluk azaltıcı olarak değerlendirmiştir.

Hussin M. H. ve arkadaşlarının 2017’de yaptıkları çalışmada, temperleme tekniğiyle alevle doğrultma kullanılarak kaynaklı ek yerinin çarpılması ile ilgili tamir işleri yapılmış ve çarpılma başarıyla düşürülmüştür. Yapılan çalışmaya göre, mikro yapısal analizlerden, tamir edilen numunelerin tamir edilmeyen numunelere kıyasla daha ince tane boyutuna sahip olduğu görülmüştür. Onarılmış numunelerin kırılma dayanımının onarılmamış numunelere kıyasla daha yüksek olduğu bulunmuş. Sertlik sonucu, tamir edilen numunelerin tamir edilmeyen numunelere kıyasla daha düşük sertlik değeri gösterdiğini ortaya koyduğu söylenmiş. Daha önce kaynak esnasında ve çekiçle temperleme tekniği ile birlikte alevle doğrultmada ısıya maruz kalan onarılmış numunelerin numuneyi zayıflatan ısı nedeniyle daha kırılma dayanımına geldiği sonucuna varılabildiği yine bu çalışmada ortaya konmuştur.

2004 yılında Serkan B.’nin yaptığı yapısal kaynak analiz çalışmalarında, kaynak nedeniyle kaynaklı yapıda kalan artık gerilmeler olduğu görülmüştür. Soğuma anından itibaren görülen büzülme direnci, kaynak metaline yan bölgelerde aksel olarak yüksek çeki gerilmeleri meydana getirmiştir. Bunun beraberinde de kaynaktan uzak bölgelerde bası gerilmeleri oluşmuştur.

2005 yılında Şengel, M. A.’nın yaptığı kaynak nedeniyle oluşan deformasyonlar ve artık gerilmeler konusunda çalışmasında, gemi üretimi ele alınarak farklı kaynak parametreleri kullanılarak Sysweld analiz programıyla üründeki deformasyon ve artık gerilmeler incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucu ısı girdisi nedeniyle ark kaynakları yerine lazer kaynaklarının kullanılabilirliği ve kaynak sıra prosedürlerinin geliştirilmesi yönünde çıktılar sunmuştur.

Çelik levhanın doğrultma için ısıtıldığı sıcaklık, baz metalin özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir. Orta ve yüksek dayanımlı, düşük alaşımlı çelikler, sıcaklığın etkilerine karşı düşük dayanımlı çeliklerden çok daha hassastır. Düşük dayanımlı çeliklerin uzun süreli ısıtılması, kırılma dayanımına duyarlı oldukları bir sıcaklık aralığında

meydana gelmediği sürece, alev dzleştirmenin sıcaklıklarını belirgin şekilde etkilemesi beklenmez. Yüksek alaşımlı sndrlmş ve temperlenmiş çeliklerde durum böyle değildir. Doğrultma düşük kritik sıcaklığın üzerindeki sıcaklıklarda geręekleřtirilirse, bu çelikler kısmen dönüşür ve çelik soğutulurken istenmeyen mikro yapılar oluşabilir; bu sıcaklıklara ısıtılması da ısıl işlem görmüş çelikleri değiştirecektir. Düşük sıcaklıklarda uzun süreli ısıtma kırılğan mikro yapıların oluşumunu teşvik edebilir (Pattee, Evans, Monroe, 1969, s. 24-25).

Schafer D. ve arkadaşlarının 2012 yılında yaptıkları çalışmada iki koşul yerine getirildiğinde, bir alevle doğrultma işleminin başarılı olması beklendiğinden bahsedilmiştir. Bunlardan birincisi, materyal içinde hiçbir zararlı etkiye rastlanmaması, ikincisi ise, istenilen doğrultma uygulanmiş veya önceki imalat işlemlerinden kaynaklanan çarpılma düzeltilmiş olmasıdır.

1970 yılında alevin etkisi ve mekanik doğrultma çalışmaları yapan Pattee H. E. ve arkadaşları yaptıkları çalışma sonucunda, düzleştirme işlemlerinin malzeme özellikleri üzerinde beklenen ters etkinin, belirli malzeme ve işlem kombinasyonları ile ortaya çıktığını görmüşlerdir.

Alevle düzeltme metodu, sanayide yaygın olarak kaynak çarpılmalarını düzeltmek için kullanılmaktadır. Bu yöntem etkili olabilir, fakat genellikle doğrultma işlemini geręekleřtirmek için deneyimli bir kaynakçı gerektirir. Alevle doğrultma işlemi yapmak çok zaman alıcı ve masraflıdır (Feng (Ed.), 2005, s. 290).

Kaynak işleminde, konsantre hareketli ısı kaynağı, özellikle ısıdan etkilenen bölgede, kaynak yolu çevresinde büyük artık gerilmelere neden olur. Kaynak işlemi bir düzlem gerilme analizi olduğundan (serbest genleşme nedeniyle kalınlık yönünde gerilme olmaz), yalnızca enine ve boyuna artık gerilmeler göz önünde bulundurulur. Artık gerilim dağılımını karakterize etmek için, artık gerilimin farklı yönlerde ölçülmesi için X-ışını kırınımı kullanılır (Cheng, Birnbaum, Yao, Yang, Eglund, 2006, s. 581).

Gerilmeyi azaltma, soğuk esneme, titreşim ile gerilim giderme, çekiçleme, haddeleme, nokta sıkıştırma, nokta ısıtma, sıcak düzeltme, soğuk doğrultma ve alevle doğrultma kaynak çarpılmalarını ve kaynak artık gerilimi azaltmayı hedefleyen muhtemel kaynak sonrası üretim önlemleri olarak belirlenmiştir (Radaj, 1992, s. 272).

Artık gerilmeler ve yapısal kaynaklarda meydana gelen çarpılma üç temel boyut değişikliğinden kaynaklanır. Bunlar, kaynak hattına dik enine çekme, kaynak hattına paralel boylamsal çekme ve açısız çarpımadır (Janca, 1987, s. 16).

Günümüzde kaynak, gemi yapımı, köprüler ve inşaat çeliği yapıları ve otomotiv endüstrisi gibi birçok endüstri tarafından verimlilik, çok yönlülük ve güvenilirlik nedeniyle kullanılan en yaygın kullanılan montaj yöntemidir. Bununla birlikte, kaynak, kontrol edilmezse veya etkin şekilde düzeltilmemesi durumunda, ürünlerin kalitesini düşüren ve üretim programlarında gecikmelere neden olan belirli miktarda kaynak bozulması üretir (Rodriguez, 2015, s. 48).

Kaynak çevrimi sırasında ortaya çıkan ısı ve bunu izleyen doğal zorlamalı soğutma, basit diferansiyel ayırma mekanizması ve alaşımlarda faz dönüşümlerinden kaynaklanan genişleme ile artık gerilme alanlarına neden olur. Böylece, özünde kaynak işlemlerinden kaynaklanan artık gerilmeler, metallerin ısıl işleminde bulunan aynı termal ve dönüşüm gerilmeleridir. (Calder, 1962, s. 42)

Son zamanlarda, endüstride de büyük kaynaklı bileşenlerde artık gerilmeyi azaltmak için bu yöntem uygulanmaktadır (Yang ve diğerleri, 2005, para. 4). Otomotiv endüstrisinde de yapılan ulusal çaptaki literatür araştırmaları sonucu uygulama alanı çok bulunmayan bu yöntem aslında, bu alandaki üretilen ürünler üzerinde katma değer sağlayabilecek niteliktedir. Bu nedenle de çalışmalar fazla miktarda kaynak girdisine sahip ürünlerden biri olan otobüs iskeleti üzerinde yapılmıştır.



Şekil 3. Otobüs iskelet üretimi

BÖLÜM 2. GENEL BİLGİLER

2.1. Otobüs İskelet Üretimi

Aracın komponentlerini oluşturan; yan duvar, tavan, ön duvar, arka duvar, taban ve şasi toplama kalıplarında ilgili parçalar kaynak fikstürleri üzerindeki ilgili bölümlerine yerleştirilerek bir araya getirilir sonrasında ise düz ve ters kaynakları yapılır. Komponentlerin hazırlanması sonrasında, vinç yardımı ile komple şase aparatın içine yerleştirilir. Vinç yardımı ile komple yan duvarlar aparatın içine yerleştirilir ve sabitleme pimleri ile yan duvarlar kalıba sabitlenir. Vinç yardımı ile komple tavan aparatın içindeki yan duvarların üzerine konulur. Vinç yardımı ile aracın ön ve arka duvarlar, aparatın içindeki tavan, yan duvar ve şase ile .birleşim yerlerinden kaynatılır. Kaynatılan parçalara gerekiyorsa taşlama yapılır ve çapakları alınır. Aracın yan duvar eğim kontrolü yapılır, araç doğrultularak tolerans sınırları içine alınır. İlk doğrultma sonrası kaynatılması gereken parçalar kaynaklanır. Basamak iskeleti ve arka koltuk tutucuları kaynaklanır. Aracın basamak, motor bölgesi ve çamurluk bölgesinin saclaması, dolap montajları yapılır. Aracın yan duvar iç saclar ve ön duvar saclama montajları yapılır. Ön taban, podest ve dolap saclama montajları yapılır. Aracın davlumbaz ve radyatör saclama montajı ile ray ve çita montajları yapılır. Aracın kapsel, alt kaynak, tavan saclama montajları yapılır. Aracın tavan yan saclama montaj ve kaynağı yapılır. Aracın yan saclarının montajı yapılır ve en sonunda da ilgili kalite birimi tarafından montaj ve kaynak kontrolleri yapılır.

2.2. Kaynaklı İmalatta Uygulanan Kaynak Yöntemleri

2.2.1. Kavram tanımlamalar

Kaynaklı imalat operasyonları sırasında firma içerisinde kullanılan kaynak yöntemleri DIN EN ISO 4063'e göre aşağıdaki gibidir:

- a. Asetilen – Oksijen Aleviyle Gaz Kaynağı (G 311)
- b. Tungsten Asal Gaz Kaynağı (TIG 141)
- c. Metal Koruyucu Gaz Kaynağı (MIG 131/MAG 135)
- d. Direnç Nokta Kaynağı (RP 21)
- e. Saplama Kaynağı (782)

Bu kaynak yöntemlerinden en sık ve bu tez kapsamında üretilecek komponentlerde kullanılan MIG/MAG kaynak yöntemidir.

2.3. Alevle Doğrultma

Kaynağa bağlı oluşan enine ve boyuna büzölmeler ve açısız çarpılma alevle doğrultma ile giderilebilir. Kaynaklı işletmelerde alevle doğrultma kabul görmüş imalat metodudur. İyi bir personel vasfı gerektirir.

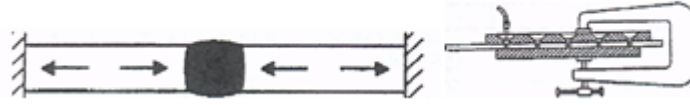
Alevle doğrultma DIN 8522'de tanımlanmıştır. Alevle doğrultmanın temeli, tüm metalleri ısınınca genleşmesi ve soğuduklarında büzölmeleri (serbest genleşme ve büzölme) prensibine dayanır.

2.3.1. Alevle doğrultmada ısının etkisi

Bölgesel keskin sınırlı ısıtmada; ısıtma hızlı olmalı, ısı birikimi oluşturulmalıdır. Sıcaklık yüksekliği malzemeye bağlıdır. Malzeme, plastik bölgeye kadar ısıtılmalıdır. Çelikler için alevle doğrultma sıcaklığı 550-700°C (Koyu kırmızı kor), hafif metaller için alevle doğrultma sıcaklığı 350-400°C'dir.

2.3.1.1. Isıl genişlemenin engellenmesiyle ısınan bölgenin şişmesi

Genleşmenin optimum oranda engellenmesi önemlidir. Soğuk çevre, doğal genişleme engelleyicidir. Çok uzun ısıtma (yanlış üfleç seçimi, yanlış yanıcı gaz) genişlemenin engellenmesini kötüleştirir. Eğer ısıl genişlemenin engellenmesi için çevre yeterli değil ise mekanik yardımcı gereçlerin kullanılması gereklidir. Yardımcı gereçler gerilmemeli sadece tutturulmalıdır.



Şekil 4. Parçada ısıl genişleme ve engelleyici ekipman

Sonuç olarak basma gerilimleri meydana gelir ve plastik deformasyon oluşur.

2.3.2. Soğuma sonrası büzülme ve kısılma

Alevle doğrultmanın etkisi, malzeme oda sıcaklığına soğutulduktan sonra ortaya çıkar. Normalde soğuma havada olur, fakat bazı durumlarda soğuma hızı su ile soğutma ile artırılır. Bu bir sonraki ısı profilinin oluşturulmasından önce yararlıdır.

2.3.3. Alevle doğrultmada kullanılan cihazlar

Alevle doğrultma üfleci uygulama durumuna ve malzeme kalınlığına göre seçilir.

2.3.3.1. Nominal kaynak düzeneğinin tek alevli üfleci

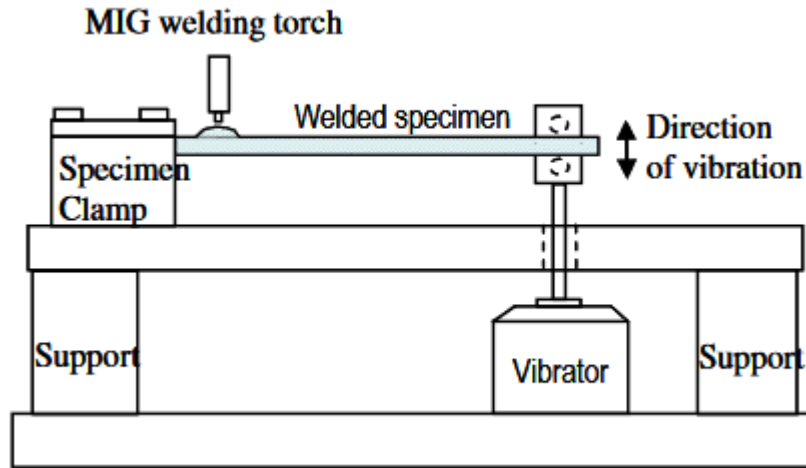
Isı noktaları, çizgileri, kamaları veya ovaleri ile doğrultma için en çok kullanılan üfleçtir. Alevle doğrultma üflecinin büyüklüğü malzeme çeşidi ve levha kalınlığı ile belirlenir. Üfleç büyüklükleri 3mm'ye kadar olan levhalar için kaynakta olduğu gibi belirlenir. Levha kalınlıkları 3mm üzerinde olduğu zaman levha kalınlığı "s" 2-2.5 ile çarpılmalıdır.

Malzeme	Isı iletim sayısı	Ortalama spesifik ısı	Üfleç ucu büyüklüğü (DIN8543)
Çelikler ve çelik döküm, alaşımsız	0.55	0.6	normal
Nikel malzemeler	0.63	0.5	normal
Paslanmaz çelikler	0.147	0.5	daha küçük (bir üfleç büyüklüğü)
Titanyum malzemeler	0.175	0.6	daha küçük (bir üfleç büyüklüğü)
Aluminyum ve alaşımları	2.117 1.5	1.0	daha büyük (bir üfleç büyüklüğü)
Bakır ve alaşımları	3.95	0.4	daha büyük (1-2 büyüklük)

Şekil 5. Üfleç ucu seçimi

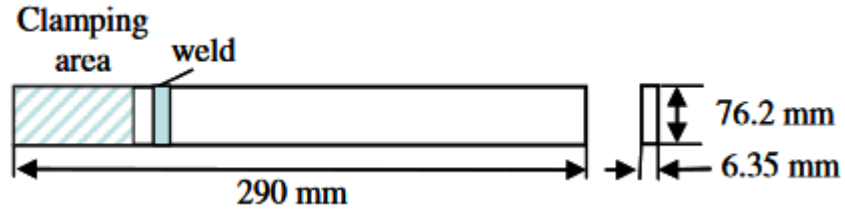
2.4. Kaynak Sonrasında Titreşim ile Gerilim Giderme ve Sonlu Elemanlar Modellemesi

Şekil 6.'da, deneysel olarak titreşim ile gerilim giderme düzeneği kurulmuştur. Burada bir numune ucundan sıkıca klemp ile sabitlenir ve diğer ucundan titreşim cihazına bağlanır. Bu kurulum titreşim ile gerilim gidermeyi hem kaynak sırasında hem de kaynak sonrasında çalışmak için kullanılabilir. Hem rezonanslı hem de rezonanssız frekansta bu kurulum üzerinde çalışma yapılabilir (Yang ve diğerleri, 2005, para. 6).



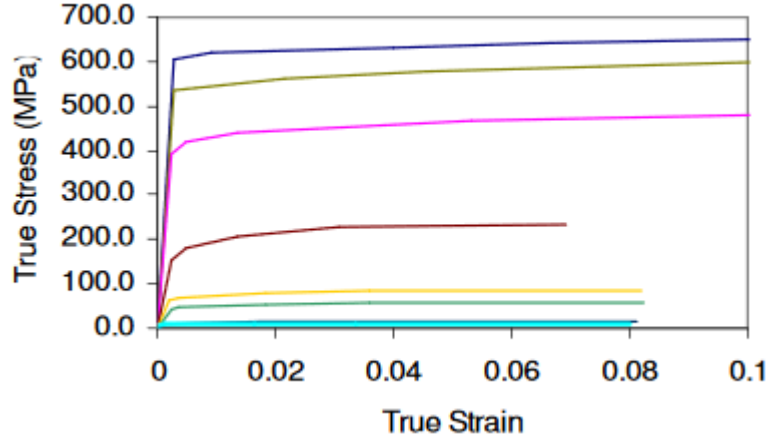
Şekil 6. Titreşim ile gerilim giderme düzeneği (Yang ve diğerleri, 2005, Şekil 1)

Kullanılan numune %0,18 karbon alaşımı I profil eni kesiti 6,35x76,2 mm dir. Parça uzunluğu ise, 290 mm dir. Bu uzunluğa klemeleme bölgesi ve dinamik yük uygulaması için kullanılan serbest uzunlukta dahildir. Klemeleme alanının yanına MIG kaynağı ile Şekil 7.'deki gibi bir kaynak dikişi atılır (Yang ve diğerleri, 2005, para. 7).



Şekil 7. Kaynak numunesi (Yang ve diğerleri, 2005, Şekil 2)

Bunun sonucunda oluşan numunenin mekanik özellikleri Şekil 8.'de gösterilmiştir. Ortam sıcaklığında ötelemeli akma gerilimi 607 MPa'dır. (Yang ve diğerleri, 2005, para. 3)



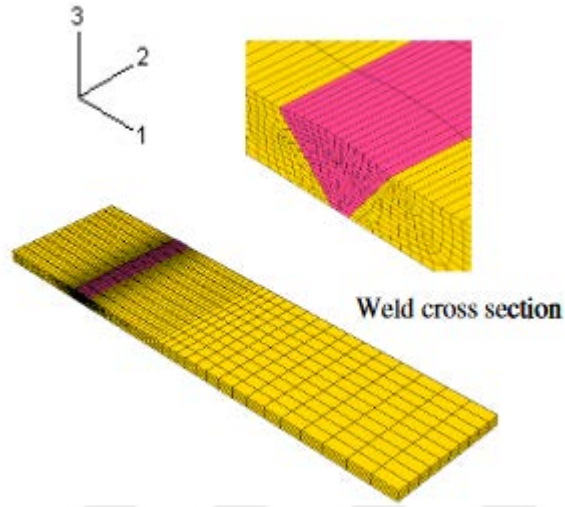
Şekil 8. Sıcaklığa bağlı malzeme özellikleri (Yang ve diğerleri, 2005, Şekil 3)

2.4.1. Kaynak artık gerilim modellemesi

Numune tutturulduktan ve MIG kaynaklama sistemi düzeneğe yerleştirildikten sonra kaynaklama işlemi yapılır. Kaynak prosesindeki voltaj 25 V, akım 195 A ve kaynak hızı 5,63 mm/s dir (Yang ve diğerleri, 2005, para. 8).

Kaynak artık gerilimi, geliştirilmiş modelleme süreçleri ile modellendi ki bu pek çok endüstriyel ve devlet projelerinde doğrulanmıştır. Bu prosedür endüstrilerdeki kaynaklama sebebiyle deformasyonun kontrol ve tahmininde başarılı bir şekilde kullanılmıştır. Bu çalışmada, ABAQUS programı ile kaynak prosesi simüle edilmiştir.

Şekil 9.'da görüleceği üzere v kaynak arkı modellenmiştir (Yang ve diğerleri, 2005, para. 9).



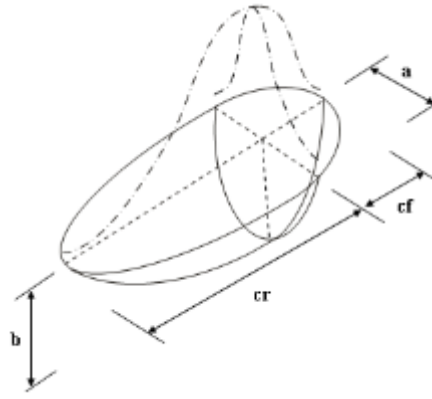
Şekil 9. Kaynak numunesi için bir sonlu eleman örgüsü (Yang ve diğerleri, 2005, Şekil 4)

2.4.2. Termal analiz

Goldak'ın Elipsoit modeli ABAQUS programına aktarılarak hareketli ark ısı analizi gerçekleştirilmiştir. Isı akış dağılımına ait hesaplama (Denklem 2.1) aşağıda verilmiştir.

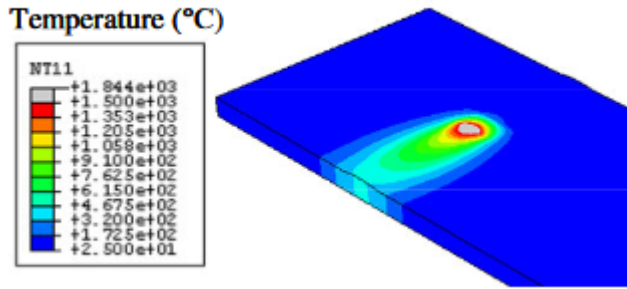
$$q(x, y, z, t) = f \frac{6\sqrt{3Q\eta}}{abc\pi\sqrt{\pi}} e^{\frac{-3x^2}{a^2}} e^{\frac{-3[y+v(\tau-t)]^2}{c^2}} e^{\frac{-3z^2}{b^2}} \quad (2.1)$$

Burada η ısı verimliliği, Q gücü (voltaj ile çarpılan kaynak akımı), a, b ve c elipsoidin yarı çapları, x, y ve z küresel koordinatları, t ise zamanı ifade etmektedir. Şekil 10'da a, b ve c yarı eksenleri gösterilmiştir (Yang ve diğerleri, 2005, para. 10).



Şekil 10. Goldak'ın elipsoit modelinin tasarımı (Yang ve diğerleri, 2005, Şekil 5)

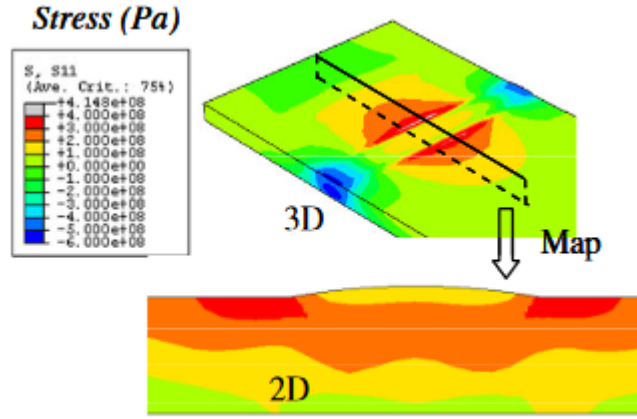
Ark, numune plakasının ortasına doğru hareket ettiğinde tahin edilen sıcaklığı Şekil 11'de gösterilmiştir. Isıtma ve soğutmayı içeren tüm sıcaklık değerleri gerilim analizleri için veri tabanına kaydedilmiştir (Yang ve diğerleri, 2005, para. 11).



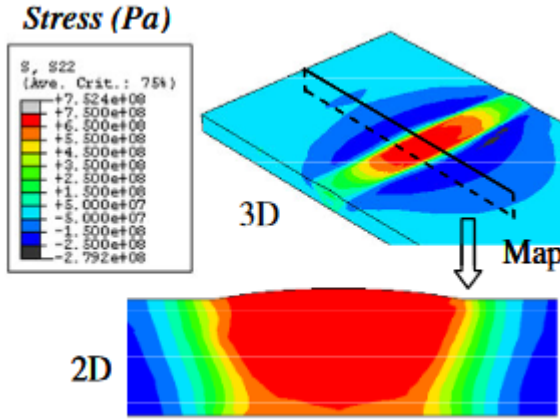
Şekil 11. Sıcaklık dağılımı (t=6,75 saniye) (Yang ve diğerleri, 2005, Şekil 6)

2.4.3. Kaynak gerilim analizi

Isı analizinde tahmin edilen sıcaklık değerleri kaynak gerilim analizini yapmak için termal-mekanik modellemeye eklenmiştir. Numune üzerindeki klemp simüle etmek için uygun sınır koşulları gerilim modeline dahil edilir. Metal tortu tabakası ve ergitme/tekrar ergitme etkisi modellemede dikkate alınan diğer hususlardır. İzotropik sertleşme simülasyonda kullanılmıştır. Şekil 12 tahmin edilmiş enine ve boyuna artık gerilim dağılımını göstermektedir. Artık gerilim, titreşim ile gerilim giderme hesabında zamandan tasarruf için 2 boyutlu olarak haritalandırılmıştır (Yang ve diğerleri, 2005, para. 12).



(a) Transverse residual stress

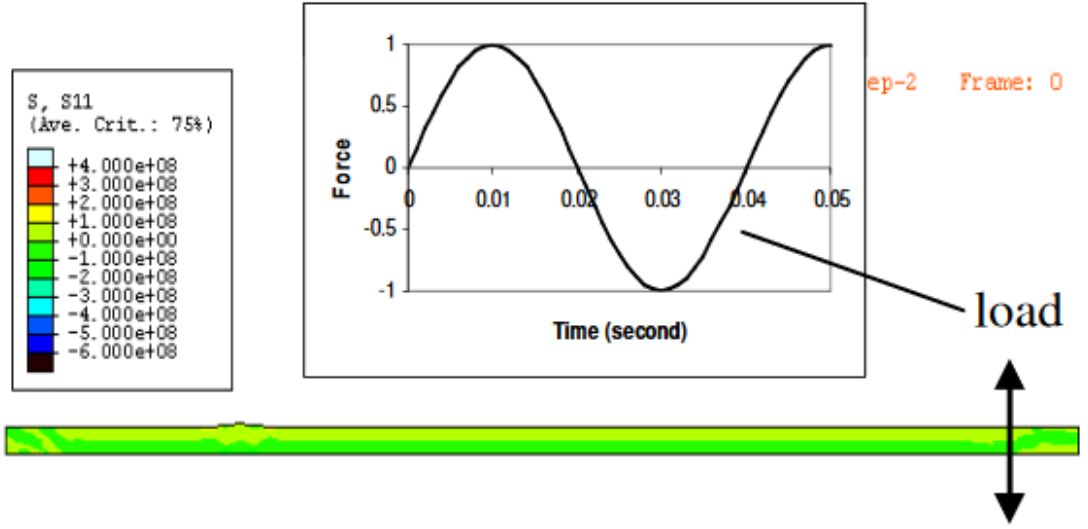


(b) Longitudinal residual stress

Şekil 12. Kaynak artık gerilim dağılımı (Yang ve diğerleri, 2005, Şekil 6)

2.4.4. Rezonansız titreşim ile gerilim giderme

Şekil 13'de gösterilen yükleme koşulları ve 2 boyutlu model kullanılarak, ABAQUS dinamik analizi ile rezonansız titreşim analizi yapılmıştır. Dinamik analizde, artık gerilme ve etkin plastik gerilme başlangıç koşulları olarak girilmiştir. 25 Hz gibi küçük bir frekans seçilmiştir. Titreşim zamanının ve titreşim genliğinin, kaynak artık geriliminde azalmaya olan etkisi çalışılmıştır (Yang ve diğerleri, 2005, para. 13).

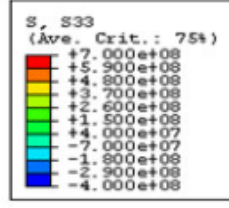


Şekil 13. Titreşim ile gerilim gidermenin 2 boyutlu gösterimi (Yang ve diğerleri, 2005, Şekil 7)

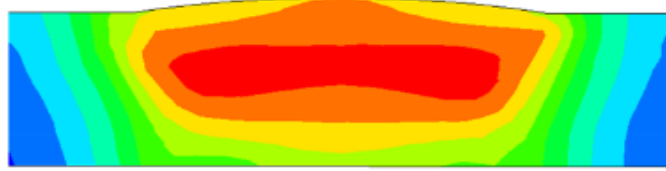
2.4.4.1. Titreşim zamanının gerilim azaltmadaki etkisi

Şekil 14'de titreşim zamanının boylamsal artık gerilim azaltma üzerindeki etkisi gösterilmektedir. Artık gerilim, en çok ilk dönemde azaltılmıştır (0,04 saniye). Küçük bir azalma 2. dönemde gerçekleşmiş (0,08 saniye) ve daha küçük bir azalma 3. dönemde gerçekleşmiştir. 3. Dönemden sonra daha da azalma görmek pek mümkün değildir. Bu da rezonanssız titreşim ile gerilim giderme için gerilim azalmasının titreşim zamanından çok titreşim genliğine bağlı olduğu anlamına gelir (Yang ve diğerleri, 2005, para. 14).

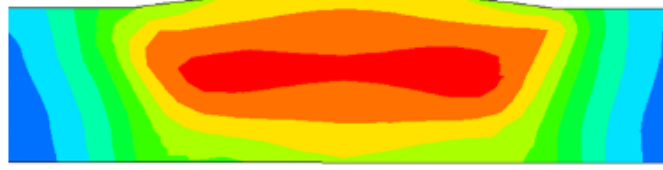
longitudinal Stress (Pa)



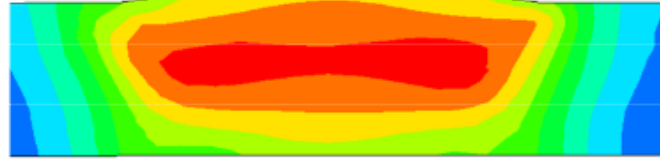
As-welded



One cycle (t = 0.04 second)



Two cycle (t = 0.08 second)



Three cycle (t = 0.12 second)

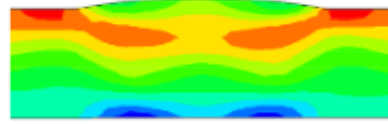
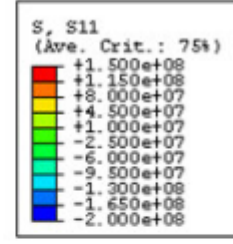
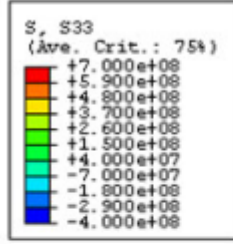
Şekil 14. Titreşim zamanının boylamsal artık gerilim azaltma üzerindeki etkisi (Yang ve diğerleri, 2005, Şekil 8)

2.4.4.2. Titreşim genliğinin gerilim azaltmadaki etkisi

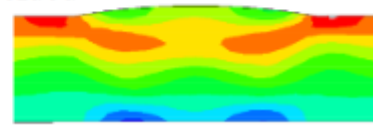
Titreşim frekansı 25 Hz olarak sabitlendi ve titreşim genliği, titreşim genliğinin gerilim azaltmadaki etkisini araştırmak için çeşitlendirildi. Şekil 15’de gösterildiği gibi, titreşim genliğinin arttırılması ile, hem boyuna hem de enine artık gerilmeler azaldı (Yang ve diğerleri, 2005, para. 15).

longitudinal Stress (MPa)

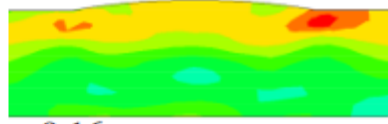
Transverse Stress (MPa)



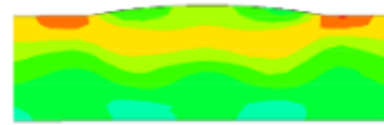
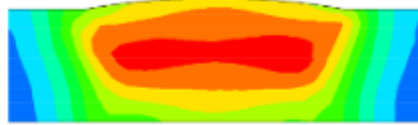
(a) As-welded



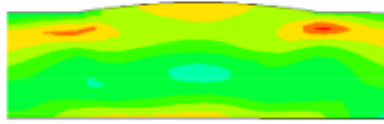
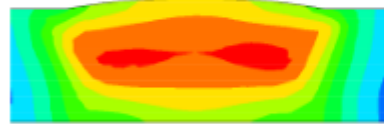
(b) Amplitude = 4.58mm



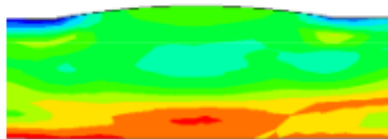
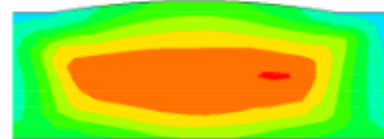
(c) Amplitude = 9.16mm



(d) Amplitude = 13.74mm



(e) Amplitude = 18.3mm



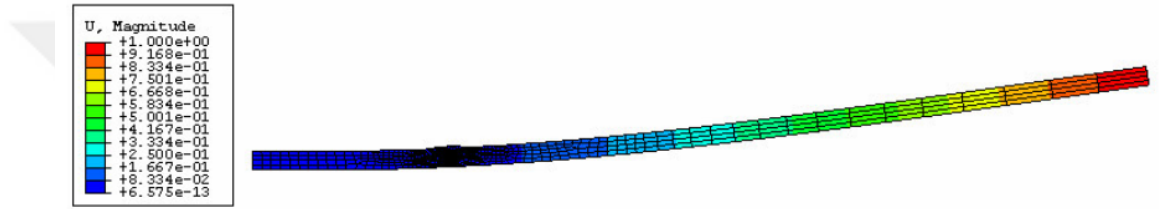
(f) Amplitude = 29.0mm

Şekil 15. Titreşim genliğinin artık gerilim azaltmadaki etkisi (Yang ve diğerleri, 2005, Şekil 9)

2.4.5. Rezonanslı titreşim ile gerilim giderme

2.4.5.1. Doğal frekans analizi

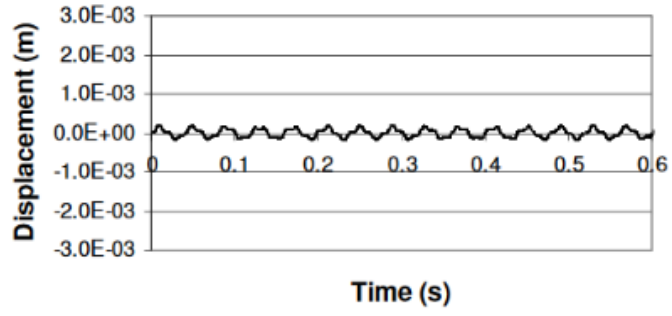
Başlangıç koşulları olarak kaynak artık gerilimi girerek ve numunenin bir ucuna sabit sınırlandırıcı uygulayarak, serbest doğal titreşim analizi ABAQUS programı kullanılarak yapılmıştır. Şekil 16’da doğal frekans 75,928 Hz olarak belirlenmiştir. Bu belirlenen mod diğer çalışmalarda kullanılmıştır (Yang ve diğerleri, 2005, para. 19).



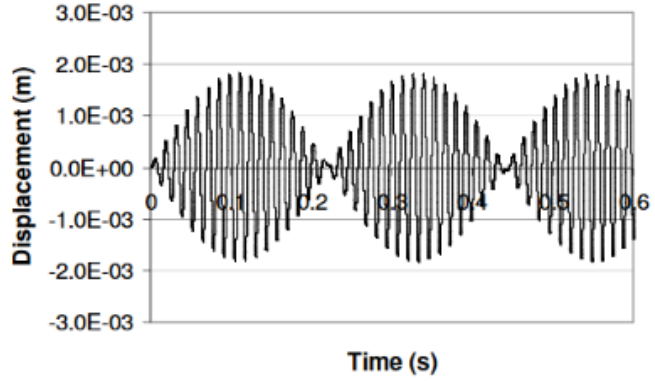
Şekil 16. Doğal frekans modu (Yang ve diğerleri, 2005, Şekil 10)

2.4.5.2. Yük-frekansın yer değiştirme genliğine etkisi

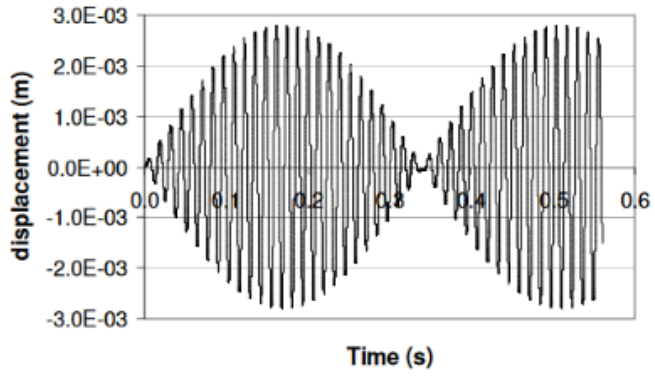
100 N’luk bir yük ve 3 farklı frekans değeri aynı numune üzerinde uygulandı. Bu frekans değerleri 25 Hz, 74,3 Hz ve 75,928 Hz. Kolaylık olsun diye kaynak artık gerilimi analize dahil edilmedi. Şekil 17’de bu yük tarafından tetiklenen yer değiştirme görülmektedir (Yang ve diğerleri, 2005, para. 20).



(a) Frequency = 25 Hz



(b) Frequency = 74.3 Hz



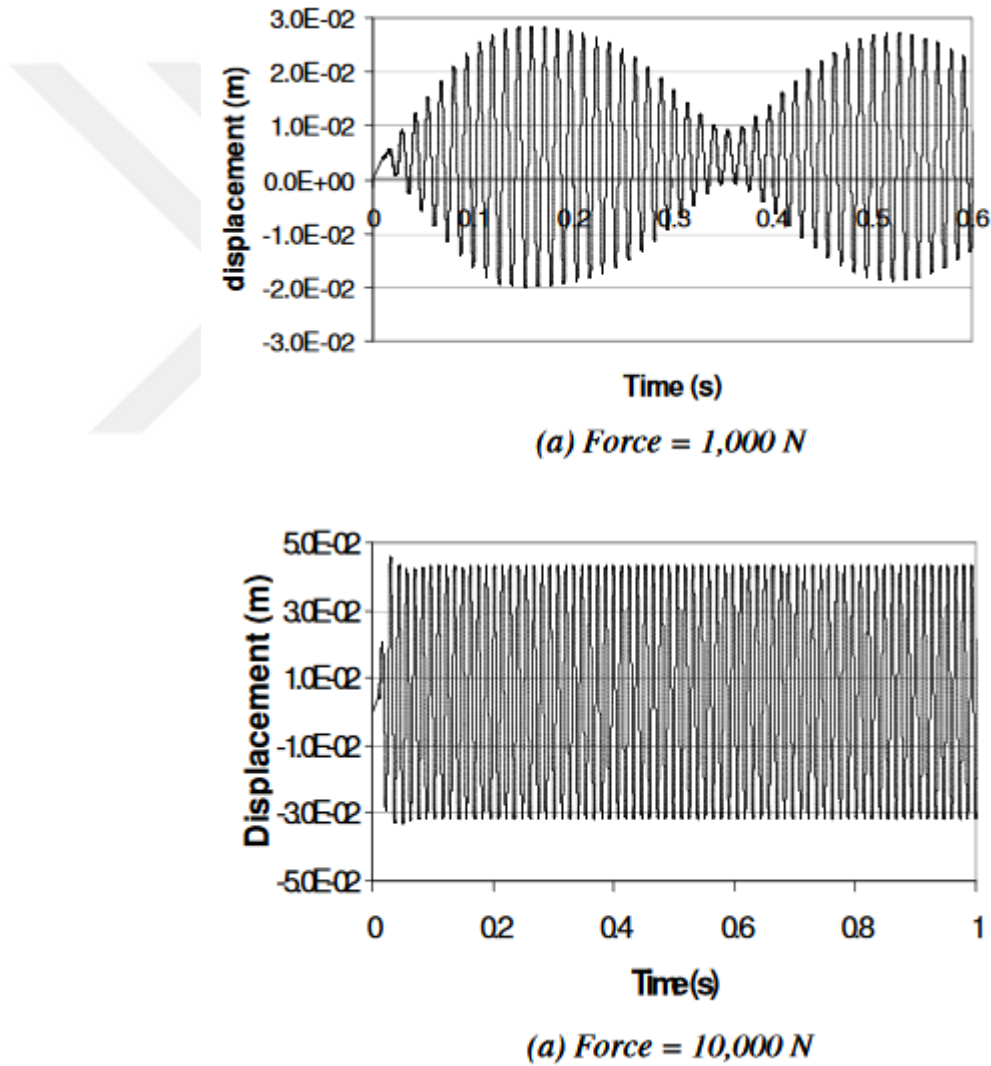
(c) Frequency = 75.9 Hz

Şekil 17. Yer değiştirmede yük-frekans etkisi (Yang ve diğerleri, 2005, Şekil 11)

Yer değiştirme genlikleri ilk yükte, 25 Hz için 0,19 mm, 74,3 Hz ve 75,928 Hz için 0,17 mm'dir. Frekansı 25 Hz olan durum için, bu yer değiştirme genliği takip eden dönemlerde sabit kalır fakat, 75,3 Hz ve 75,928 Hz frekanslarındaki durumlar için yer değiştirme genliği takip eden dönemlerde yükselir. Maksimum yükseltilmiş yer değiştirme genliği 74,3 Hz frekansı için 1,8 mm'ye 75,928 Hz frekansı için 2,7 mm olmaktadır. Bu řu anlama gelmektedir; yük frekansı yapı doğal frekansa yaklařtıķça, yükseltilmiş yer değiştirme genliği o kadar büyük olur (Yang ve diğerleri, 2005, para. 20).

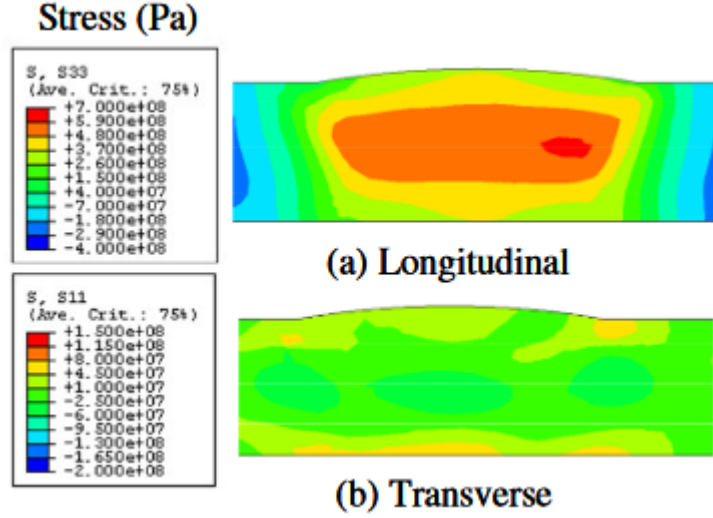
2.4.5.3. Yer değiştirme genliğine yk-büyüklük etkisi

Yük-frekansın yer değiştirme genliği üzerindeki etki ile ilgili olan çalışma göstermiştir ki; Rezonanslı frekans 75.928 Hz için başarılan maksimum yer değiştirme 2,7 mm'dir. Bu nceki çalışmaya bağlı olan artık gerilimi azaltmak için yeterli değildir. Kaynak artık gerilimini azaltmak için, yk 10 ve 100 defa yükseltilmiştir. Şekil 41'de Yük-Büyüklük'n yer değiştirme genliği üzerindeki etkisini göstermektedir. Kaynak artık gerilimi bu çalışmada dahil edilmiştir (Yang ve diğerleri, 2005, para. 23).



Şekil 18. Kuvvet büyüklüğünün yer değiştirme genliği üzerindeki etkisi (Yang ve diğerleri, 2005, Şekil 12)

Şekil 18’de 1000 N güç ile yer değiştirme genliğinin 28 mm’ye yükseldiği ve 10.000 N güç ile 41,2 mm’ye yükseldiği durumlar görülmektedir (Yang ve diğerleri, 2005, para. 24).



Şekil 19. Rezonanslı titreşim ile kaynak artık gerilimini giderme (Yang ve diğerleri, 2005, Şekil 13)

Şekil 19’da rezonanslı titreşim ile gerilim giderme sonrasında son kaynak artık gerilimini göstermektedir (1000 N ve 75,928 Hz). Hem boyuna hem de enine artık gerilim azaltılmış durumda. Buradaki sonuçlar Şekil 15’deki sonuçlarla oldukça benzer. Bu demektir ki kaynak artık gerilimi hem rezonansız hem de rezonanslı titreşim ile gerilim giderme tarafından azaltılabilir. Kaynak artık gerilimi azaltmak için gerekli olan tek şey kaynak etrafında plastik deformasyon yaratacak kadar büyük bir yer değiştirme genliğinin olmasıdır. Rezonanslı ve rezonanssız titreşim ile gerilim giderme arasındaki tek fark, rezonans titreşim ile gerilim gidermedeki etkiyi kuvvetlendirme etkisine sahiptir (Yang ve diğerleri, 2005, para. 25).

BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Genel Bilgi

Çalışmalar, robotik kaynak makinesi ile denemeler dışında Şekil 1’de gösterilen otobüs bileşenleri üzerine yapıldı. İskeleti oluşturan komponentler arasında taban grubu, kritik yük çekmesi bakımından daha yüksek öneme sahiptir. Bunun yanı sıra taban iskeletinin açık uçlar barındırması ve yoğun biçimde kaynak uygulaması içermesi bakımından çarpılma sorunu yüksek bileşenlerden biridir. Aks, motor gibi standart parçaların üzerine sorunsuzca montaj yapılabilmesi bakımından ölçüsel hassasiyetin yüksek olması ve bu nedenle de çarpılmaların yüksek olduğu bileşen grubudur. Araç şasisinde yaklaşık olarak 15.000 adet kaynak bulunmaktadır. Bu sayı araç tipine göre değişkenlik göstermektedir. Şasi bölümünde kullanılan kaynak parametreleri çarpılmayı etkileyen önemli bir unsurdur. Kalın parçalar için, yukarıdan aşağı kaynak pozisyonu (PG) için ve diğer pozisyonlar olmak üzere 3 farklı kaynak parametresi oluşturulmuştur. 4 mm den daha kalın olan malzemeler için 240-260 A arasında bir kaynak akımı ve 24-26V arasında bir voltaj uygulanmaktadır. Yukarıdan aşağı içinse, 140-160 A kaynak akımı ve 20-22V arasında gerilim uygulanmaktadır. Diğer pozisyonlarda ise 200-220 A kaynak akımı ve 20-24 V arasında kaynak gerilimi uygulanır. Normlar uyarınca (MG 110.25) EN ISO 5817 numaralı standarda göre C seviyesinde kaliteyi sağlayabilmek kaynak kalitesi açısından zorunluluk teşkil etmektedir. Bu standarda göre %100 kök nüfuziyeti sağlamak gereklidir. Bu parametreler bu kalite standardını sağlayabilmek için belirlenmiştir. Kaynak akım ve voltaj ısı girdisi ile doğru orantılıdır. Taban grubu ise, arka taban, orta taban ve ön taban olarak 3 gruba ayrılmaktadır. İncelemelerin bir kısmı bu 3 komponent arasında yer alan arka tabanda yapılmıştır. Simülasyon incelemeleri ise ön duvar-iskelet komponenti üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Taban komponentinde kullanılan malzemeler EN ISO 10149-2 numaralı standarda göre S315MC, ve S460MC çelikleridir. Çelikler kutu profil şeklindedir. Bu profil örgüsünden oluşan yapı üzerine destek tutucuları, lamalar ve sac plakalar kaynatılarak komponent, çatma (komponentlerin bir araya getirilmesi) öncesi son halini alır.

3.2. Üretimde İş Etüdünün Yapılması

Çalışmalar, kaliteli ürün elde etmenin yanı sıra, doğrultma için yapılan işçiliğin azaltılarak üretimde verimliliğin arttırmasını da amaçlamaktadır. Doğrultma işçiliği iskelet üretiminin çok büyük bir kısmını oluşturmakta ve aynı zamanda kaynak ve malzemenin yapısal kalitesini olumsuz olarak etkilemektedir. Bir başka deyişle, hem kaynak kalitesinin arttırılması amaçlanmaktadır hem de yapılan fazladan işçiliğin azaltılması hedeflenmektedir.

Mevcut durumda yapılan işçilikler detaylı olarak incelenmiştir. Farklı araç şaselerinde yapılan iş etütleri sonucunda ortalama olarak alınan veriler sistemsel verilerle kıyaslanmıştır. İnceleme sonuçlarına göre, bir komponentin oluşturulması, fikstüre parça dizilmesi, kaynak işlemi, vinçle taşıma, doğrultma ve taşlama işlemleri gibi ara süreçlerden geçerek oluşturulmaktadır.

Aşağıdaki tabloda yapılan ön ve arka duvarın üretim süreleri görülmektedir. Buna göre ön duvar için toplam üretim süresinin ortalama olarak 240 dakika olduğu görülmektedir bunun ortalama olarak 10 dakikalık kısmını doğrultma işlemi oluşturmaktadır. Ancak yapılan incelemelerde yapılan bu 10 dakikalık doğrultma işleminin yetersiz olduğu ve istenilen seviyede yapılmadığı görülmüştür. Aynı şekilde arka duvar komponentinin ortalama üretim zamanının 269 dakika olduğu görülmektedir. Bu 269 dakikanın ortalama 9 dakikası doğrultma işlemidir. Yine aynı şekilde bu doğrultma süresi yeterli değildir. Komponentlerin iş etüdü analizine göre bakıldığında toplam üretim süresinin 2900 dakika olduğu ve bunun sadece %5'lik kısmının doğrultma prosesi olduğu görülmektedir. Başka bir deyişle doğrultma işlemi araç çatıldıktan ve ana iskelet oluştuktan sonra yapılmaktadır. Araç çatıldıktan sonra yapılan doğrultma işlemi de ortalama olarak 1100 dakikalık bir

işlemdir. Bu süreç komponentlerin oluşum süresinin yaklaşık %30'luk kısmını oluşturmaktadır.

İş Elemanları	1 (dk)	2 (dk)	3 (dk)	4 (dk)	5 (dk)	6 (dk)	Ortalama (adam dk)	Normal Süre (adam dk)	Standart Süre (%10 KDP)	Adam
Tavan Toplama										
Parçaların Kalıba Dizilmesi	88	86	74	80	88	74	82	353,67	392,70	6,55
Puntalama	132	128	122	130	132	122	128			
Kaynak	160	150	100	148	160	100	136,3			
Kalıptan Çıkarma	10	6	7	8	10	7	8,00			
Vinç ile Taşıma	4	4	3	4	4	3	3,67			
Tavan Ters Kaynak										
Aparata Sabitleme	8	6	4	6	8	4	6	125,00	140,67	2,34
Puntalama ve Kaynak	102	112	108	98	102	108	105			
Taşılama	16	14	12	14	16	12	14			
Vinç ile Taşıma	3	3	3	4	3	3	3,17			
Tavan Doğrultma										
Aparata Sabitleme	5	6	4	3	5	4	4,50	32,83	40,45	0,67
Doğrultma	29	31	28	25	29	28	28,33			
Vinç ile Taşıma	5	4	4	4	5	4	4,33			

Şekil 20. Otobüs tavan iskeleti üretim iş etüdü

İş Elemanları	1 (dk)	2 (dk)	3 (dk)	4 (dk)	5 (dk)	6 (dk)	Ortalama (adam dk)	Normal Süre (adam dk)	Standart Süre (%10 KDP)	Adam
Ön Duvar Toplama										
Kalıp Değişimi	2	2	2	2	2	2	2	121,17	139,78	2,33
Parçaların Aparata Dizme	28	28	30	27	31	32	29,33			
Puntalama	50	42	46	52	45	43	46			
Kaynak	46	41	44	45	43	42	43,50			
Vinç ile Taşıma	8	6	6	6	7	6	6,50			
Ön Duvar Ters Kaynak										
Puntalama	13	15	17	15	16	14	15	94,50	111,62	1,86
Ters Kaynak	74	54	62	65	60	72	64,50			
Taşılama-Çapak Alma	16	15	14	15	14	16	15			
Vinç ile Arabaya Taşıma	8	7	8	8	8	7	7,67			
Ön Duvar Doğrultma										
Doğrultma	9	12	10	12	10		10,33	10,33	15,70	0,26
Arabanın Çatmaya Taşınması	5	4	4	4	5	4	4,33			

Şekil 21. Otobüs ön duvar iskeleti üretim iş etüdü

İş Elemanları	1 (dk)	2 (dk)	3 (dk)	4 (dk)	5 (dk)	6 (dk)	Ortalama (adam dk)	Normal Süre (adam dk)	Standart Süre (%10 KDP)	Adam
Ön Taban Toplama										
Parçaların Kalıba Dizilmesi	28	25	31	30	25	31	28	198	227,8	3,80
Puntalama ve Kaynak İşlemi	53	50	55	52	50	55	52,5			
Vinç ile Taşıma	5	5	6	5	6	6	5,5			
Tutucuların Kaynatılması	110	120	115	125	120	115	117,5			
Vinç ile Taşıma	4	4	5	5	4	5	4,5			
Ön Taban Ters Kaynak										
Ters Kaynak Aparatına Yerleştirilmesi	5	5	5	5	5	5	5	126,5	143,15	2,385833333
Ters Kaynak İşlemi	116	124	121	124	124	120	121,5			
Vinç ile Taşıma	4	4	4	4	4	4	4			

Şekil 22. Otobüs ön taban iskeleti üretim iş etüdü

İş Elemanları	1 (dk)	2 (dk)	3 (dk)	4 (dk)	5 (dk)	6 (dk)	Ortalama (adam dk)	Normal Süre (adam dk)	Standart Süre (%10 KDP)	Adam
Orta Taban Toplama										
Parçaların Kalıba Düzilmesi	26	30	28	32	30	28	29	135,83	156,42	2,61
Puntalama ve Kaynak İşlemi	62	58	60	63	58	59	60			
Vinç ile Taşıma	3	3	3	3	3	3	3			
Tutucuların Kaynatılması	48	46	45	51	46	45	46,83			
Vinç ile Taşıma	4	4	4	4	4	4	4			
Orta Taban Ters Kaynak										
Ters Kaynak Aparatına Yerleştirilmesi	4	2	4	4	2	4	3,33	90,50	102,55	1,71
Ters Kaynak İşlemi	84	86	88	91	86	88	87			
Vinç ile Taşıma	3	3	3	3	3	3	3			
Orta Taban Doğrultma										
Doğrultma	23	28	26	28	28	26	26,50	65,00	74,50	1,24
Koridor Sacı Saynak İşlemi ve Taşlama	0	0	0	0	0	0	0			
Bagaj Sacı Saynak İşlemi ve Taşlama	39	35	40	41	35	41	38,5			
Vinç ile Taşıma	3	3	3	3	3	3	3			

Şekil 23. Otobüs orta taban iskeleti üretim iş etüdü

İş Elemanları	1 (dk)	2 (dk)	3 (dk)	4 (dk)	5 (dk)	6 (dk)	Ortalama (adam dk)	Normal Süre (adam dk)	Standart Süre (%10 KDP)	Adam
Arka Taban Toplama										
Parçaların Kalıba Düzilmesi	57	58	60	65	58	65	60,5	250,5	284,55	4,7
Puntalama ve Kaynak İşlemi	88	90	87	99	90	98	92			
Vinç ile Taşıma	5	5	5	5	5	5	5			
Tutucuların Kaynatılması	95	97	95	102	97	102	98			
Vinç ile Taşıma	4	4	4	4	4	4	4			
Arka Taban Ters Kaynak										
Ters Kaynak Aparatına Yerleştirilmesi	3	3	3	3	3	3	3	211	236,1	3,94
Ters Kaynak İşlemi	210	208	215	203	208	204	208			
Vinç ile Taşıma	4	4	4	4	4	4	4			
Arka Taban Doğrultma										
Doğrultma	52	46	56	61	48	61	54,5	54,5	63,45	1,0575
Koridor Sacı Saynak İşlemi ve Taşlama	0	0	0	0	0	0	0			
Vinç ile Taşıma	3	3	4	4	4	3	3,5			

Şekil 24. Otobüs arka taban iskeleti üretim iş etüdü

İş Elemanları	1 (dk)	2 (dk)	3 (dk)	4 (dk)	5 (dk)	6 (dk)	Ortalama (adam dk)	Normal Süre (adam dk)	Standart Süre (%10 KDP)	Adam
Sağ Yan Duvar Toplama										
Parçaların Kalıba Düzilmesi	56	50	58	50	58	56	54,67	186,33	250,63	4,18
Puntalama	42	44	46	44	46	42	44			
Kaynak	84	78	82	78	82	84	81,33			
Taşlama	3	4	6	4	6	3	4,33			
Kalıptan Çıkarma	2	2	2	2	2	2	2			
Vinç ile Taşıma	6	5	6	5	6	6	5,67			
Vinç Geçişini Bekleme ve Parça Arama	24						24			
Yanlış Kaynatılan Parçanın Çıkarılması ve Yeniden Kaynatılması	16						16			
Sol Yan Duvar Toplama										
Parçaların Kalıba Düzilmesi	42	48	50	48	50	42	46,67	188,33	211,50	3,53
Puntalama	44	52	56	52	56	44	50,67			
Kaynak	88	80	84	80	84	88	84			
Taşlama	4	5	6	5	6	4	5			
Kalıptan Çıkarma	2	2	2	2	2	2	2			
Vinç ile Taşıma	5	4	4	4	4	5	4,33			
Sağ Yan Duvar Ters Kaynak										
Ters Kaynak Aparatına Yerleştirilmesi	6	6	6	6	6	6	6	117,67	142,10	2,37
Tutucuların Kaynatılması ve Ters Kaynak	105	108	102	105	102	108	105			
Taşlama	4	6	10	4	10	6	6,67			
Vinç ile Taşıma	2	3	3	2	3	3	2,67			
Parça Bekleme	10						10			
Sol Yan Duvar Ters Kaynak										
Ters Kaynak Aparatına Yerleştirilmesi	8	9	9	9	9	8	8,67	120,67	134,73	2,25
Tutucuların Kaynatılması ve Ters Kaynak	98	102	106	102	106	98	102			
Taşlama	10	8	12	8	12	10	10			
Vinç ile Taşıma	2	2	2	2	2	2	2			
Sağ Yan Duvar Doğrultma										
Doğrultma	12	14	10	14	12	10	12	12,00	16,20	0,27
Vinç ile Taşıma Regaline Taşıma	3	3	3	3	3	3	3			
Sol Yan Duvar Doğrultma										
Doğrultma	11	14	9	14	11	9	11,33	11,33	14,47	0,24
Vinç ile Taşıma Regaline Taşıma	2	2	2	2	2	2	2			

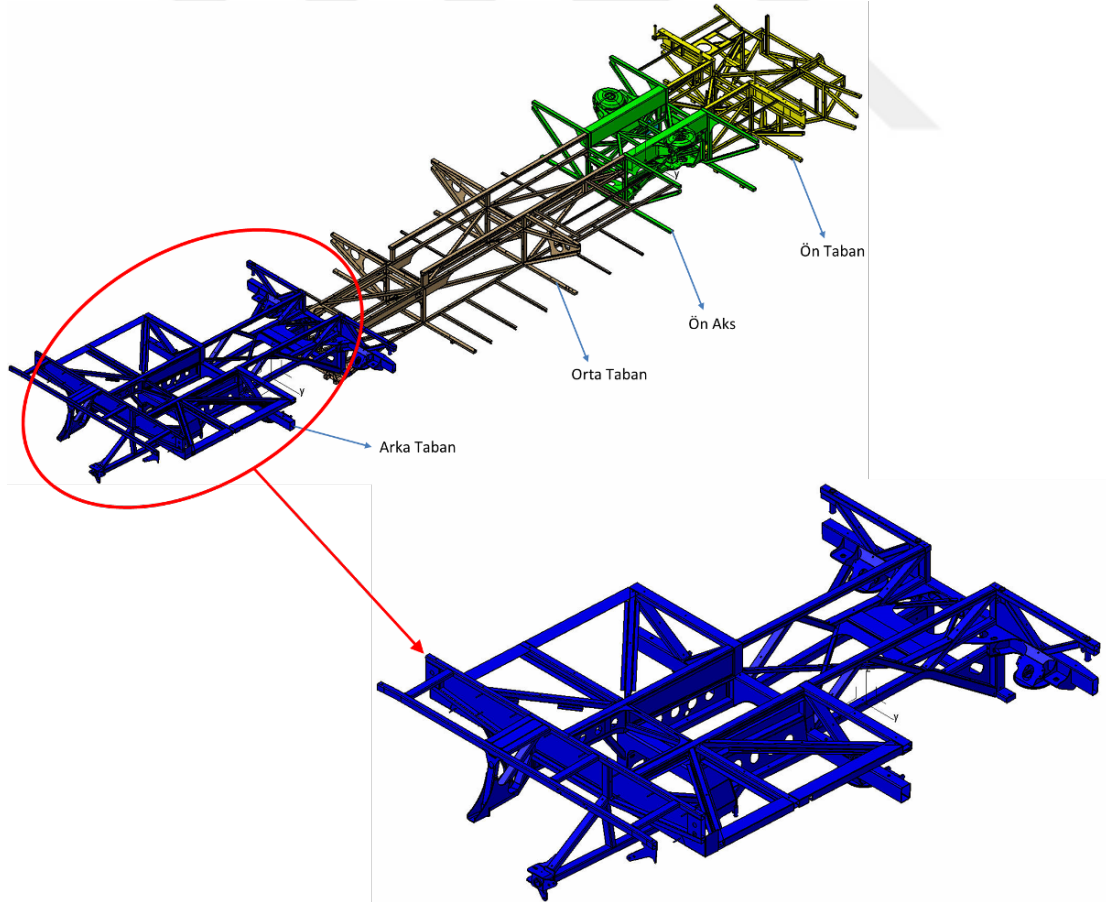
Şekil 25. Otobüs yan duvar iskeleti üretim iş etüdü

İş Elemanları	1 (dk)	2 (dk)	3 (dk)	4 (dk)	5 (dk)	6 (dk)	Ortalama (adam dk)	Normal Süre (adam dk)	Standart Süre (%10 KDP)	Adam
Arka Duvar Toplama										
Kalıp Değişimi	4	4	4	4	4	4	4	125,17	143,52	2,39
Parçaları Aparata Dizme ve Puntalama	84	76	80	80	75	82	80			
Kaynak	44	38	42	45	40	41	41,67			
Vinci ile Taşıma	6	5	6	6	6	6	5,83			
Arka Duvar Ters Kaynak										
Puntalama ve Ters Kaynak	52	60	64	55	61	62	59,00	116,00	131,60	2,19
Taşıma-Çapak Alma	8	10	8	8	9	8	8,50			
Arka Duvarı Çevirme	4	6	7	5	4	5	5,17			
Puntalama ve Ters Kaynak (devam)	36	34	38	36	40	38	37			
Taşıma-Çapak Alma	8	6	6	6	6	6	6,33			
Taşıma	4	4	4	4	4	4	4			
Arka Duvar Doğrultma										
Doğrultma	8	8	9	8	8	9	8,33	13,33	19,50	0,33
Taşıma-Çapak Alma	4	6	6	5	5	4	5,00			
Arabaya Taşıma	4	5	5	5	5	5	4,83			

Şekil 26. Otobüs arka duvar iskeleti üretim iş etüdü

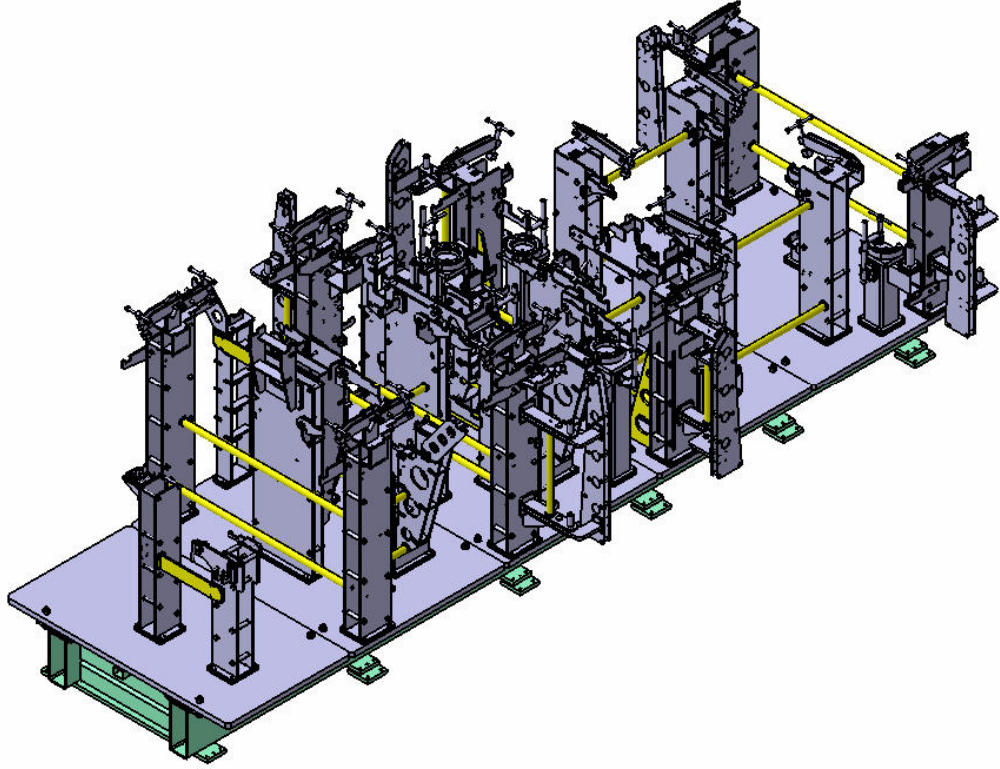
3.3. Otobüs Arka Taban Üretim Yöntemi

Arka taban, araç taban iskelet grubunun arkasında yer alan ve arka aks iskelet grubunu içeren bir komponenttir. Bu iskelet yapısına, araca ait motor, arka aks, egzoz sistemi vb. önemli parçaların montajının yapıldığı bir bileşendir.

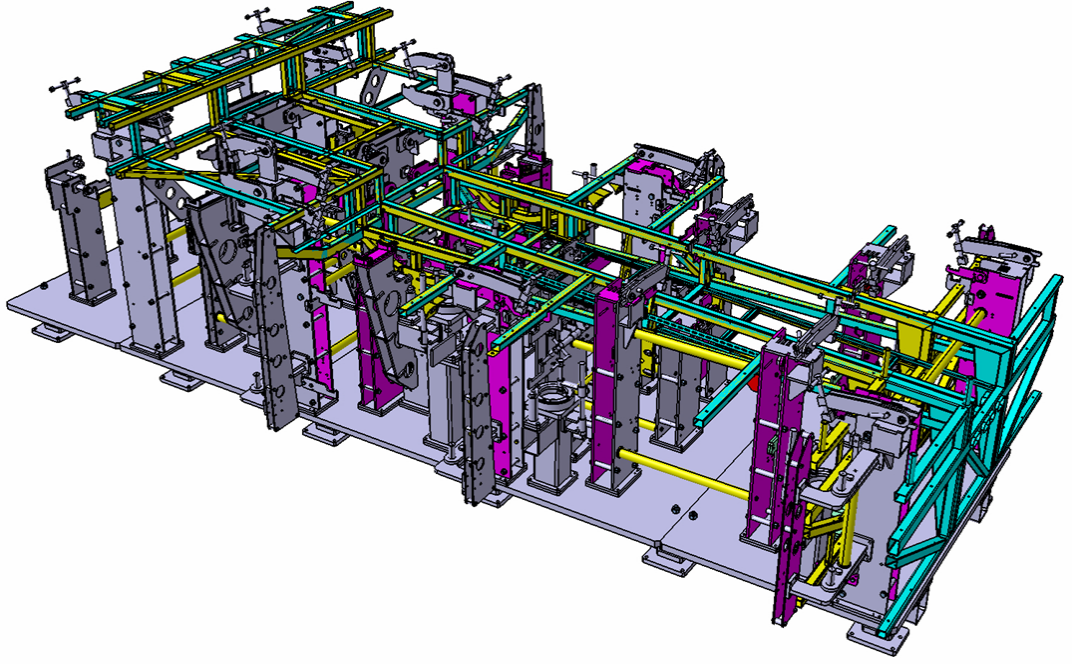


Şekil 27. Arka taban komponentinin tabandaki konumu

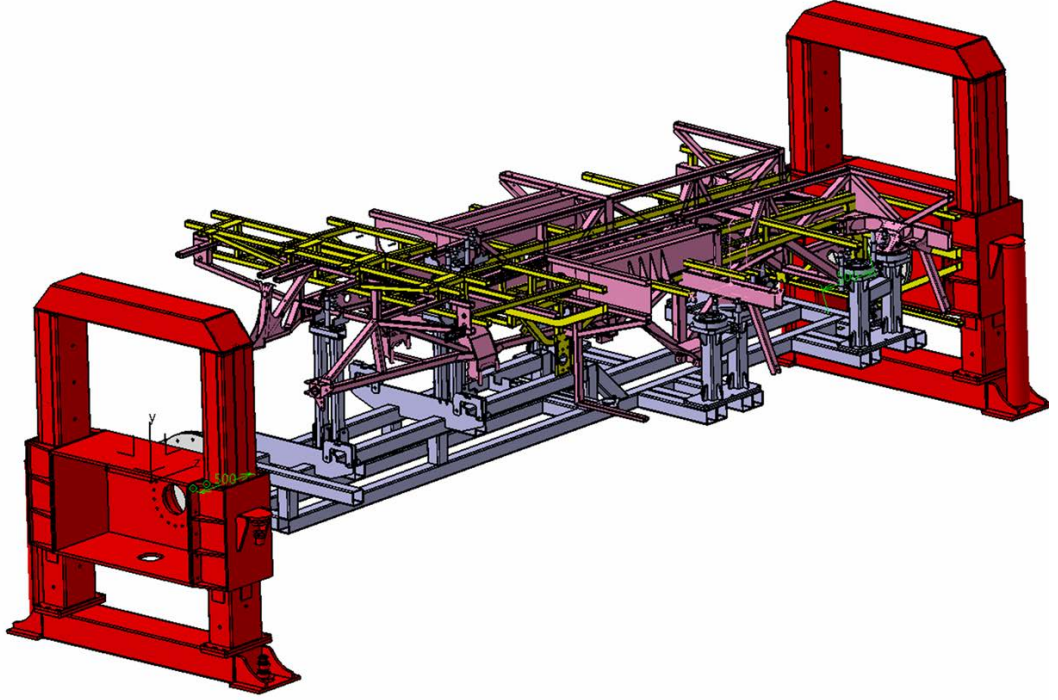
Şekil 27'deki arka taban komponenti, belirli ebatlarda ve miktardaki parçaların Şekil 28'de gösterilen arka taban fikstürü üzerine Şekil 29'daki gibi yerleştirilmesi ve fikstür üzerinde yer alan sabitleme parçaları ile sabitlenmesi sonrasında parçalar birleşme noktalarından puntalanır ve hareket alanı kısıtlanır. Bu fikstürde kaynak işlemi yapılabilen tüm noktalar kaynatıldıktan sonra parça Şekil 30'da gösterilen parça ters kaynak fikstürüne alınır. Burada bir önceki fikstür üzerinde kaynatılmayan noktalar kaynatılır.



Şekil 28. Arka taban fikstürü



Şekil 29. Arka tabanın fikstür içindeki görünümü



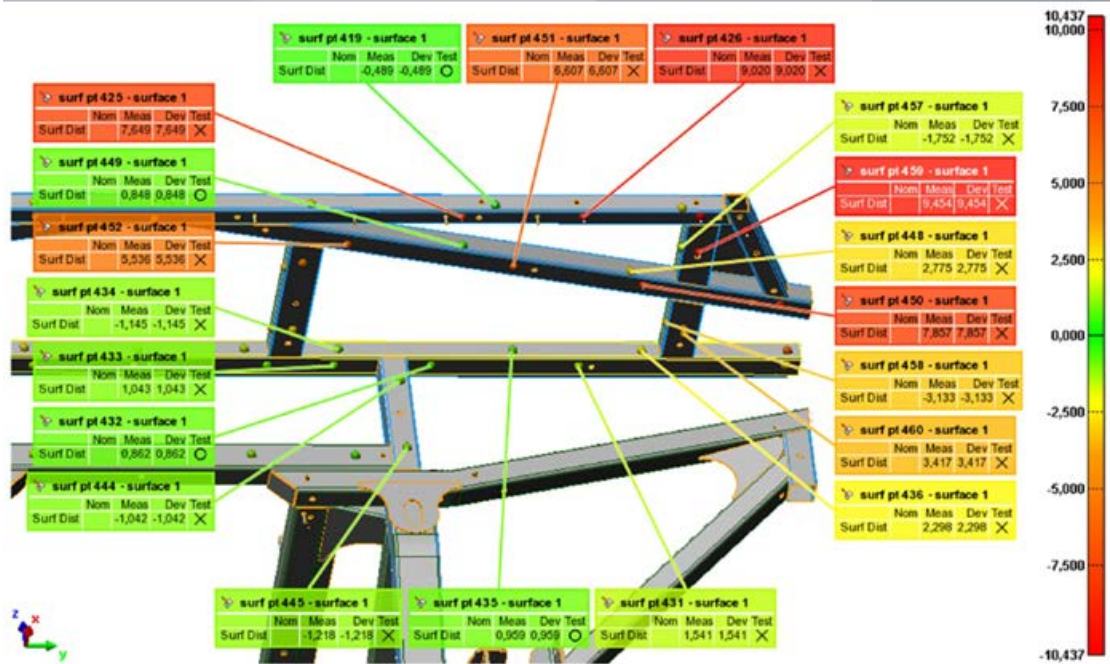
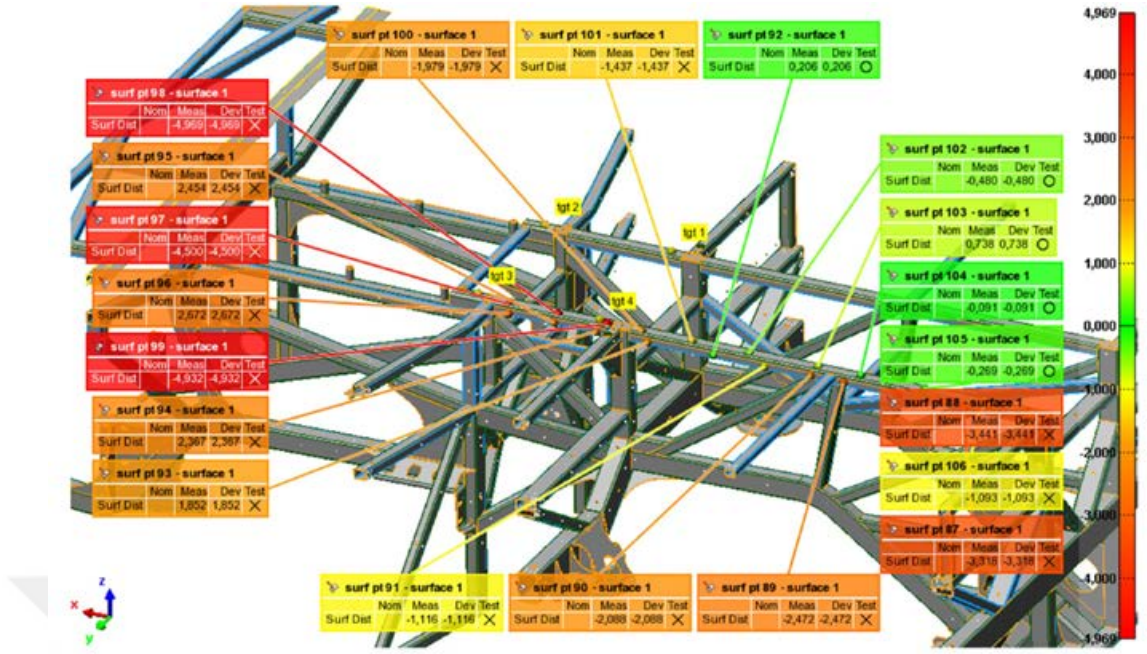
Şekil 30. Ters kaynak fikstürü ve arka taban komponenti

3.3.1. Geleneksel yöntem ile arka taban komponent üretimi

Şasi parçaları, daha kalın parçalar ve daha fazla oranda kaynak içeren bölgelerdir. Bu bölümde oluşan parçanın düzlemselliğinin sağlanması çok önemlidir. Çünkü şasi ve aks parçaları kaynak ile birleştirilirken bu parçaların düzlemselliğini sağlamak önem teşkil etmektedir. Şasi doğrultma, otobüs iskeletinin en önemli parçasıdır. düzlemselliğinin sağlanamaması, sonraki prosesleri ciddi oranda etkiler.

Kaynak makinelerinin, koruyucu gazı %82 Argon ve %18 CO²'den oluşmaktadır. Gaz karışımının bu şekilde olmasının sebebi, nüfuziyeti arttırmak için, CO² miktarını bu orana çekilerek yapılmıştır. CO² oranının artması sıçrantıyı arttırdığı için daha yüksek orana geçememiştir ve bu sebeple kısa arka kaynak yapılmaktadır.

Titreşimle gerilim giderme cihazı kullanılmadan kaynatılan arka tabana ait noktasal ve lazer ölçümler yapılarak elde edilen ölçüm sonucuna ait aşağıda Şekil 31'de görüldüğü üzere 9, 454 mm'ye kadar doğrusal çarpılma gözlemlenmiştir. Bu şekilde ölçüsel sapmalar gözlemlenen komponent doğrultma işlemine alındı. Yardımcı ekipmanlar (çekiç, balyoz, vb.) ve ısıl işleme toleranslar doğrultusunda doğrusallık sağlandı.



Şekil 31. Geleneksel yöntemle kaynatılan arka tabanın ölçüm sonucu

3.3.1.1. Geleneksel yöntemle yapılan üretimde doğrusallık kontrolü

Doğrusallık kontrolleri çatma öncesinde ve sonrasında, iskeletin ölçülerinin istenilen değerlerde olup olmadığını kontrol etmek için yapılır. Parçanın doğrusallığının uygun olmadığı durumlarda farklı yöntemler kullanılarak doğrultma yapılmaktadır.

Şablon kullanılmayan durumlarda parçaların uygunluğuna řu şekilde karar verilir:

- a. Varsa, teknik resimlerde verilen toleransa göre.
- b. Teknik resimde özel olarak tolerans verilmediği durumlarda, daha önce oluşturulmuş talimat ile verilen toleranslar göz önünde bulundurularak.
- c. n cam, yan cam ve kapıların uygunluğu kontrol edilirken özel tariflenen toleranslar göz önünde bulundurularak.

Aşağıda farklı bölgelerdeki doğrusallık kontrolü için örnekler verilmiştir.



şekil 32. n ve arka direklerin eğimlerinin şablon ile kontrolü



şekil 33. n ve yan cam yuvalarının yükseklik, genişlik ve diyagonal ölçülerinin metre ile kontrolü



Şekil 34. Yan duvar cam yuvalarının şablon ile kontrolü

3.3.1.2. Geleneksel yöntemle yapılan üretimde doğrusallığın sağlanması

Ölçümler sırasında tespit edilen hatalar çekiçleme, balyozlama, gerdirme, çekirme ve tavlama işlemleri uygulanarak düzeltilir. Doğrultma yöntemi hataların boyutuna ve uygulanacak yere göre seçilir. Doğrultma yapıldıktan sonra parça yine üstte tariflendiği gibi doğrusallık kontrolü yapılır.

3.3.1.2.1. Çekiçleme

Çekiçleme işlemi, balyozla düzeltmenin uygun olmadığı küçük parçalarda yapılır. Tutucu ve takviye gibi parçalar çekiçleme yapılarak düzeltilir.



Şekil 35. Çekiçle doğrultma işlemi

3.3.1.2.2. Balyozlama

Doğrusallık kontrolü sonucunda, uzun profillerde 3 mm ve 3 mm'nin altındaki, kısa profillerde 3 mm'nin altındaki sapmalarda, balyozlama işlemi uygulanır.

Balyozlama işlemi, parçanın sıkı bölgeden destek alabilmesi için doğrultulacak parçanın kenarlarına doğru yapılmalıdır. Böylece malzeme şekil değiştirirken daha sıkı bölgeden destek alır ve sadece malzeme ortası şekil değiştirir.



Şekil 36. Balyozla doğrultma işlemi

3.3.1.2.3. Çektirme ve gerdirme

Çektirme, gerdirme işlemlerinde kullanılan ekipmanlar, birbirine paralel ya da çerçeve oluşturan profillerde kullanılır (bagaj çerçeveleri, cam yuvaları vb.). Ekipmanın her iki ucu da esnek olmayan bir parçadan destek almalıdır. Sıkıştırma ya da gerdirme hareketi uygulanarak, profiller istenilen şekle getirilir.



Şekil 37. Çektirme ve gerdirme

3.3.1.2.4. Alevle doğrultma

Doğrusallık kontrolü sonucunda, 3 mm'nin üzerindeki sapmalarda, alevle doğrultma işlemi uygulanır. Kaynak memesinde beyaz parlak bir kılıf ile çevrili temiz mavi bir koni görünür.



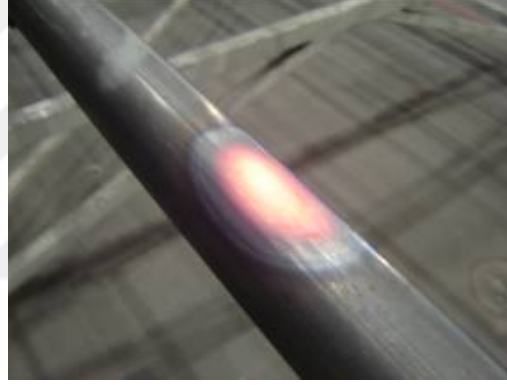
Şekil 38. Tavlama alevi

Malzemenin tavlama yapılan tarafın tersine doğru doğrulacağı göz önünde bulundurularak, doğrultulacak parçanın kenarlarına doğru ve kaynak dikişinin en az 50 mm uzağına işlem uygulanır. Tavlama yapılacak iş parçası meme ucunda oluşan mavi koninin arasındaki mesafe en az 20 mm olmalıdır.



Şekil 39. Tavlamanın yapılması

Tavlama sıcaklığı 600 °C civarında ve tavlama süresi en fazla 2 dakika olmalıdır. Tavlama yapıldıktan sonra malzeme kendi kendine soğumaya bırakılır. Basınçlı hava, yağ ve suyla soğutulamaz.

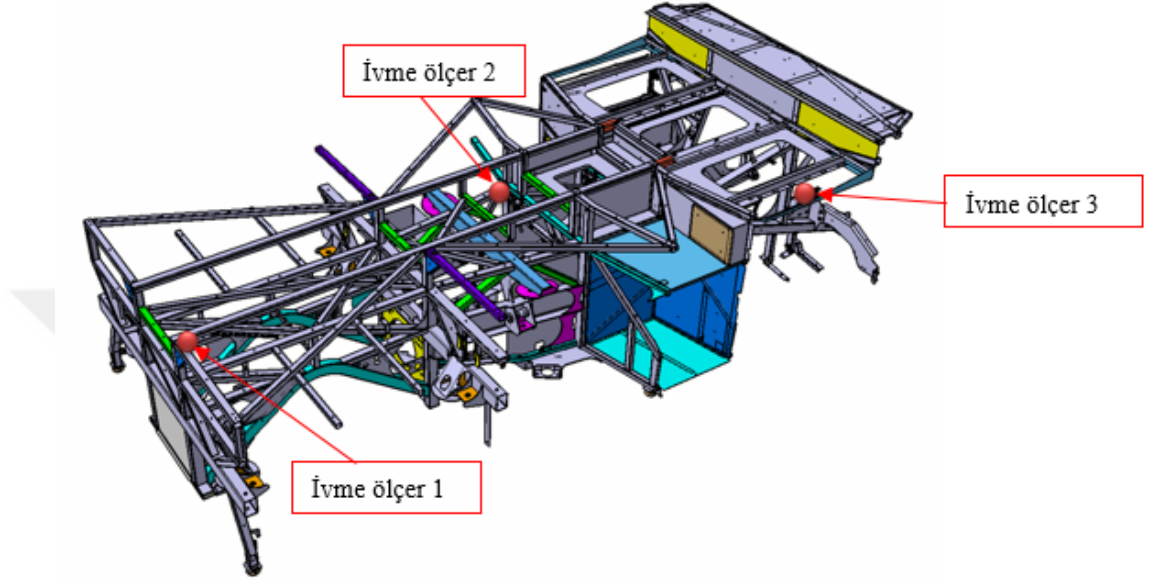


Şekil 40. Tavlama sonrası görüntü

3.4. Titreşim ile Gerilim Giderme Yöntemi Kullanılarak Arka Taban Komponent Üretimi

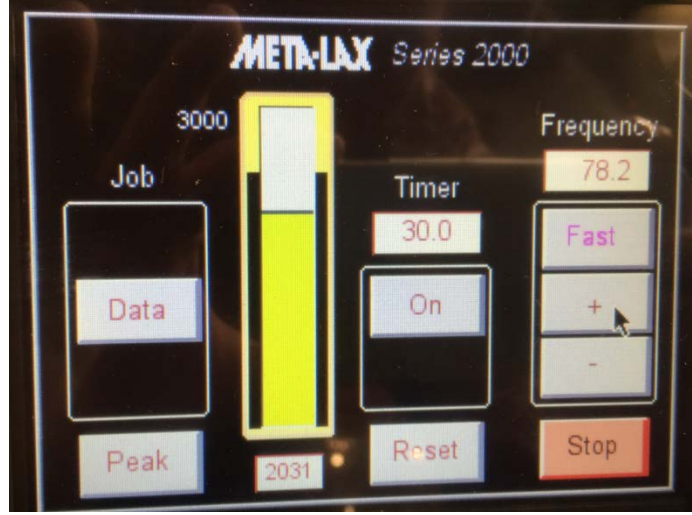
VSR yani Titreşim ile Gerilim Giderme Cihazı, titreştirici ve kontrol ünitesi olmak üzere iki modülden oluşmaktadır. Modül üzerinde kontrol edilebilecek parametreler malzeme tipi ve verilen titreşimin frekansıdır. Cihazın titreştirici ünitesinin parçanın hangi bölgesine bağlanacağını belirlemek için önce fikstür üzerinde Şekil 41’de gösterilen 3 potansiyel alan belirlenmiştir. Yapılan ilk testlerde bu potansiyel alanlar üzerine titreştiriciler yerleştirilerek cihazın fikstür üzerine uyguladığı titreşim miktarları ölçülmüştür. Bu işlem için Dewesoft analiz programı ve datalogger ve ivme ölçerler kullanılmıştır.

Hem rezonanslı hem de rezonanssız titreşimler, kaynaklı yapılardaki artık gerilmeleri azaltabilir. Rezonanssız titreşimde, gerilim azalması yüksek oranda titreşim genliğine bağlıdır. Rezonans durumunda ise, titreşim frekansı gerilim gidermede kilit noktadır. Titreşim frekansı, istenen titreşim modu için, yapının doğal frekansına yakın olmalıdır.

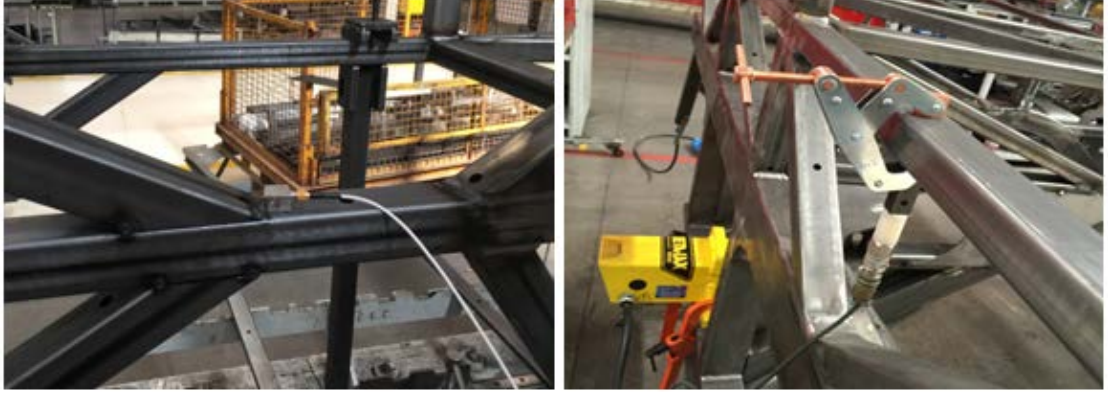


Şekil 41. Arka taban üzerinde ivme ölçerlerin konumu

Arka taban fikstürünün ağırlığı yaklaşık olarak 700 kg ile 900 kg arasında değişmektedir. Komponent ile beraber hesaplandığı zaman fikstür ağırlığı 1500-2000 kg aralığına denk gelmektedir. Kullanılan VSR cihazı 4 tona kadar olan ağırlığındaki parçalar için uygundur.



Şekil 42. Uygulanan frekans değerinin cihaz ekranı üzerindeki görüntüsü

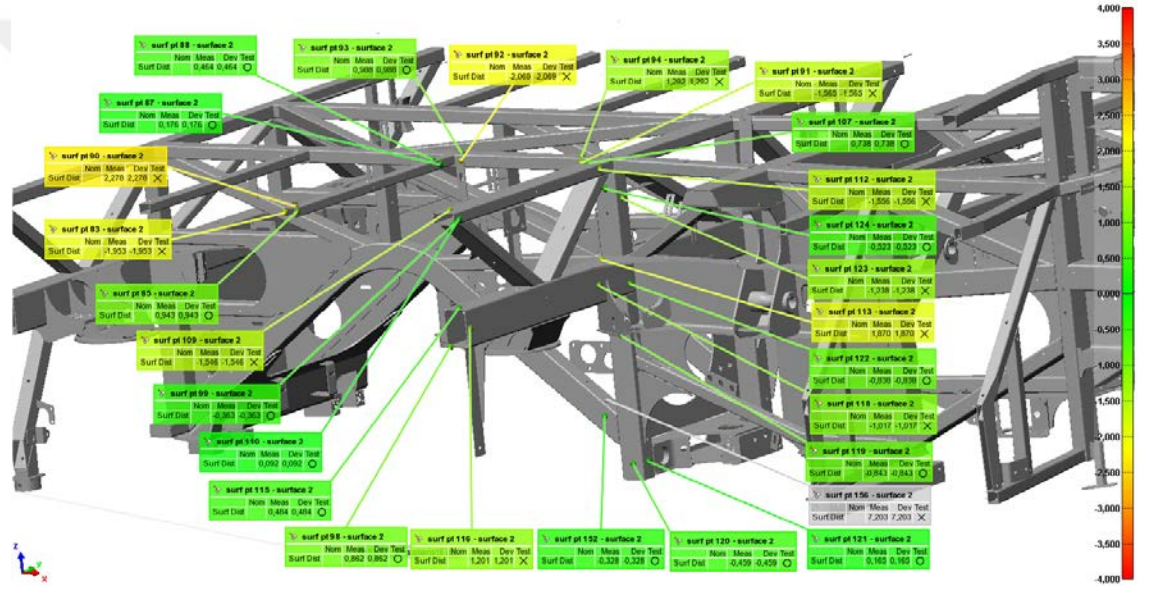


Şekil 43. İvme ölçerin (solda) ve titreştiricinin (sağda) arka taban üzerindeki konumları

Şekil 42’de görüldüğü üzere titreşim, yeşil/sarı bölge içinde tutulmakta, yani bölgenin 1/3 lük kısmını geçmemekte ve frekans değeri ise 78,2 dir. Bu oldukça hafif bir titreşim değeridir. Bu seviyedeki bir titreşim, bağlandığı noktanın yaklaşık 2-2,5 m çapındaki bir alanda etkili olmaktadır. Bu etki alanının geçerli olabilmesi için titreşimin parça boyunca iletiğinden emin olunmalıdır. Titreştiricinin yeri değiştirilerek her seferinde 4,5-5 m’lik bir çaptaki bölge etki altına alınabilir. Yani 10 m uzunluğundaki bir parça için titreştirici, 2 farklı noktadan bağlanarak 2 seferde uygun bir şekilde uygulama gerçekleştirilebilir. Bu verilere göre titreştiricinin konumu aparatın orta noktası olarak belirlenmiş ve bir arka taban komponenti, titreştirici bu konumda iken kaynatılarak birleştirilmiştir. Cihaz, fişstürün orta noktasına, kaynaklanabilirliği etkilemeyecek şekilde, Şekil 43’de gösterildiği gibi bağlanmıştır.

Yapılan hazırlıklar sonrasında titreştirici cihaz girdi parametresi 70 Hz olarak ayarlanmış ve aynı kaynak operatörleri, geleneksel kaynak yönteminde uyguladığı prosedürlerin aynısını gerçekleştirerek VSR cihazı etkisi altında parçaları kaynatmıştır. Operatör kaynaklı hataları en aza indirmek için geleneksel ve VSR uygulanmış arka taban üretimi aynı operatör tarafından iki farklı günde günün aynı saatinde gerçekleştirilmiştir. VSR etkisi altında taban komponentinin kaynağı 62 dk. sürmüştür.

Titreşim verilerle kaynak işlemi tamamlanan komponentin boyutsal ölçüm sonuçları Şekil 44’de gösterildiği gibi çıkmıştır.

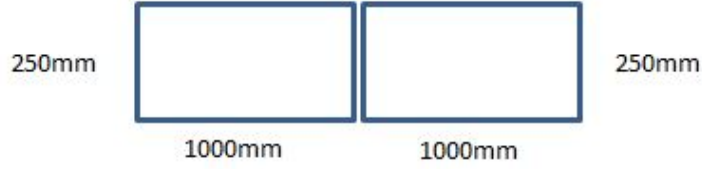


Şekil 44. Titreşimle kaynak işlemi uygulanmış arka taban komponenti 3 boyutlu ölçüm sonucu

3.5. VSR’li ve VSR’siz Robotla Kaynak Uygulaması

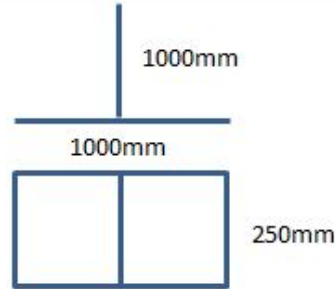
VSR teknolojisinin çarpılmaya olan etkisini daha hassas görmek için insan faktörünü ortadan kaldırarak robotla VSR’li ve VSR’siz uygulamalar yapılmıştır. Bu çalışmada ilk olarak test parametreleri belirlenmiştir. Belirlenen test kriterleri Şekil 45, 46 ve 47’deki gibidir.

250x1000(mm) Alın Kaynağı			
Test No	Yöntem (VSRsiz/VSRLi)	Kalınlık(mm)	Frekans(Hz)
1.1	VSRsiz	2	YOK
1.2	VSRsiz	3	YOK
1.3	VSRsiz	4	YOK
1.4	VSRLi	2	P.Z. Altı
1.5	VSRLi	2	P.Z. Bölgesinde
1.6	VSRLi	2	P.Z. Üstü
1.7	VSRLi	3	P.Z. Altı
1.8	VSRLi	3	P.Z. Bölgesinde
1.9	VSRLi	3	P.Z. Üstü
1.10	VSRLi	4	P.Z. Altı
1.11	VSRLi	4	P.Z. Bölgesinde
1.12	VSRLi	4	P.Z. Üstü



Şekil 45. Sac alın kaynağı test kriterleri

250x1000(mm) Köşe Kaynağı			
Test No	Yöntem (VSRsiz/VSRLi)	Kalınlık(mm)	Frekans(Hz)
2.1	VSRsiz	2	YOK
2.2	VSRsiz	3	YOK
2.3	VSRsiz	4	YOK
2.4	VSRLi	2	P.Z. Altı
2.5	VSRLi	2	P.Z. Bölgesinde
2.6	VSRLi	2	P.Z. Üstü
2.7	VSRLi	3	P.Z. Altı
2.8	VSRLi	3	P.Z. Bölgesinde
2.9	VSRLi	3	P.Z. Üstü
2.10	VSRLi	4	P.Z. Altı
2.11	VSRLi	4	P.Z. Bölgesinde
2.12	VSRLi	4	P.Z. Üstü



Şekil 46. Sac köşe kaynağı test kriterleri

L=1000(mm) (40x40) Profil Alın Kaynağı			
Test No	Yöntem (VSRsiz/VSRli)	Kalınlık(mm)	Frekans(Hz)
3.1	VSRsiz	2	YOK
3.2	VSRsiz	3	YOK
3.3	VSRsiz	4	YOK
3.4	VSRli	2	P.Z. Bölgesinde
3.5	VSRli	3	P.Z. Bölgesinde
3.6	VSRli	4	P.Z. Bölgesinde



Şekil 47. Profil alın kaynağı test kriterleri

Test kriterleri belirlenirken MAN Türkiye de üretilen otobüs iskelet şasisinde ki malzemelere sadık kalınmıştır. Robotla kaynak uygulamaları için gerekli olan S355MC malzemelerin temininden sonra kaynak işlemleri İntecro firmasında yapılmıştır. Testler esnasında kullanılan parametreler Şekil 48’de ki gibidir.

TEST PARAMETRELERİ	Sac Alın Kaynağı Parametreleri			Sac Köşe Kaynağı Parametreleri			Profil Alın Kaynağı Parametreleri		
	T=2mm için	T=3mm için	T=4mm için	T=2mm için	T=3mm için	T=4mm için	T=2mm için	T=3mm için	T=4mm için
V(Torç ilerleme hızı cm/dk)	50,4	53,05	57,02	46,42	51,72	54,37	51,72	53,05	57,02
A(Amper)	110-120	125-135	145-155	115-125	130-140	135-145	115-125	120-130	135-145
Voltaj(Volt)	17,6	18,6	19	18,7	18,2	18,7	18,5	19,1	19,4
Torç Açısı(Derece)	80,17°	80,17°	80,17°	45°	45°	45°	75°	75°	75°
Wfs(Tel sürme hızı m/dk)	4,5	4,9	5,7	4,5	4,9	5,7	4,7	5,1	5,9

Şekil 48. Robotla VSRli-VSRsiz kaynak çalışmaları test parametreleri

Robotla VSR’li ve VSR’siz uygulamalar aşağıdaki koşullarda gerçekleşmiştir:

- Tüm testlerde S355MC malzeme kullanılmıştır.
- Kullanılan titreşim frekansları, 50Hz (P.Z. altı), 70Hz (P.Z. Bölgesinde) ve 90Hz (P.Z. Üstü) dir.
- Tüm kaynaklar itme pozisyonunda yapılmıştır. Tüm alın kaynaklı parçaların arasında tel kalınlığı kadar (1mm) boşluk bırakılmıştır.
- Testlerde kullanılan masa SİEGMUND markadır. Masanın boyutları 2000x1000x940 mm’dir ve 1100 kg ağırlığındadır.

- e. Testlerde kullanılan titreşim cihazı META-LAX markadır. Titreşim kapasitesi 2Ae kapasitedir. Kontrol ünitesi 2000 serisidir.
- f. Testler YASKAWA marka robot ile gerçekleştirilmiştir. Kaynak cihazı sinerjiktir.
- g. Testlerde Sg3 kaynak teli kullanılmıştır. Kaynak gazı olarak $18\text{CO}_2+82\text{Ar}$ karışımı kullanılmıştır.
- h. Yapılan uygulamalarda çarpılmaları tam görebilmek için parçalar klemple sabitlenmeyip serbest konumda kaynatılmıştır.

Robotla VSR'li ve VSR'siz kaynak uygulamalarına ait görseller Şekil 49, 50 ve 51'de ki gibidir.



Şekil 49. VSR'li robotla kaynak uygulaması



Şekil 50. VSR'li robotla kaynak uygulaması



Şekil 51. VSR'li robotla kaynak uygulama örnekleri

İntecro firmasında robotla VSR'li ve VSR'siz kaynak uygulamaları bittikten sonra parçalar 3D ölçüm için hassas bir şekilde MAN Türkiye' ye sevk edilmiştir. MAN Türkiye kalite laboratuvarlarına gelen parçalar, pleyt üzerinde serbest konumda Catia 3D verileriyle karşılaştırılmıştır. Çakıştırma işleminden sonra parçalarla teorik 3D veriler arasında ki çarpılmalar çıkarılmıştır. Kullanılan ölçüm cihazı Romer Absolute'dir (MCAX). Yazılım olarak Pollyworks kullanılmıştır.

3.6. Çekme Testi

Statik yüklemeye maruz kalabilecek bir malzemenin maksimum tasarım gerilimi çekme dayanımı ile belirlendi ve aşağıda belirtilen malzeme özellikleri bu test ile tayin edildi:

- a. Akma Noktası (R_p) 0.2 N / mm^2
- b. Alt Akma Noktası (R_{eL}) N / mm^2
- c. Üst Akma Noktası (R_{eH}) N / mm^2
- d. Üst Akma Noktası (R_m) N / mm^2
- e. % Uzama (A)
- f. % Kesit Daralması (Z)

3.6.1. İlk ölçü uzunluğu

Teste başlamadan önce test parçası üzerine işaretlenen ölçü uzunluğudur.

3.6.2. Son ölçü uzunluğu

Test parçası köptuktan sonra kopan kısımlar aynı eksen üzerinde birleştirildiğinde ilk ölçü uzunluğu (L_0) işaretleri arasındaki uzaklıktır.

3.6.3. Kalıcı uzama yüzdesi

Test parçasına belirli bir yük uygulandıktan ve bu yük kaldırıldıktan sonraki uzamanın ilk ölçü uzunluğuna oranının % olarak ifadesidir.

3.6.4. Kopmada uzama yüzdesi

Son ölçü uzunluğu ile ilk ölçü uzunluğu arasındaki farkın ilk ölçü uzunluğuna oranıdır.

3.6.5. Kesit daralma yüzdesi

Test parçasının ilk kesit alanı ile kopmasından sonra en küçük kesit alanı farkının ilk kesit alanına oranıdır.

3.6.6. En büyük yük

Test parçasının test sırasında kopmaksızın dayanabildiği yüküdür (F_m).

3.6.7. Gerilme

Test sırasında herhangi bir andaki yükün test parçasının ilk alanına bölünmesinden elde edilen birim alanını etkileyen kuvvettir (N/mm^2).

3.6.8. Çekme dayanımı

Test parçasına uygulanan en büyük yükün test parçasının ilk kesik alanına bölünmesi ile bulunan birim alanını etkileyen kuvvettir ($R_m, N/mm^2$).

3.6.9. Akma gerilmesi

Akma gösteren bir malzeme ile yapılan testte plastik deformasyonun başlamasından hemen sonra görülen ve plastik deformasyonun yaklaşık olarak değişmeyen bir gerilim altında oluşmayı sürdürdüğü andaki gerilmedir (R_e). Akma göstermeyen malzemelerde orantısız uzama gerilimi kullanılır.

3.6.10. Üst akma gerilmesi

Üst akma gerilmesi akma sırasında kalıcı şekil değiştirmenin başladığı noktadaki gerilme değeridir (R_{eL}).

3.6.11. Orantısız uzama gerilmesi

İlk ölçü uzunluğunun belirli bir yüzdesine eşit orantısız uzamayı oluşturan gerilme değeridir ve Rp 0.2 şeklinde gösterilir. Rp 0.2 % 0,2 orantısız uzama yüzdesini gösterir. Bazı durumlarda orantısız ve elastik uzamanın toplamı ilk ölçü uzunluğunun belirli bir yüzdesi olarak belirlenip bu toplam uzamaya karşılık olan gerilme değeri verilebilir.

3.6.12. Belirgin uzama gerilmesi

Yükün kaldırılmasından sonra önce önceden belirlenmiş kalıcı bir uzamayı sağlamak için uygulanması gerekli yükün oluşturduğu gerilme değeridir. Örneğin; Rp 0.2 yük kalktıktan sonra ilk ölçü uzunluğunun % 0,2'si kadar uzama sağlayan gerilme değeridir.

3.6.13. Testte kullanılan cihazlar

- a. Kumpas - KUE039 veya KUE040
- b. Çekme cihazı - CBTC05
- c. Pürüzlülük cihazı - YPÖC02
- d. Sıcaklık ve nem ölçer

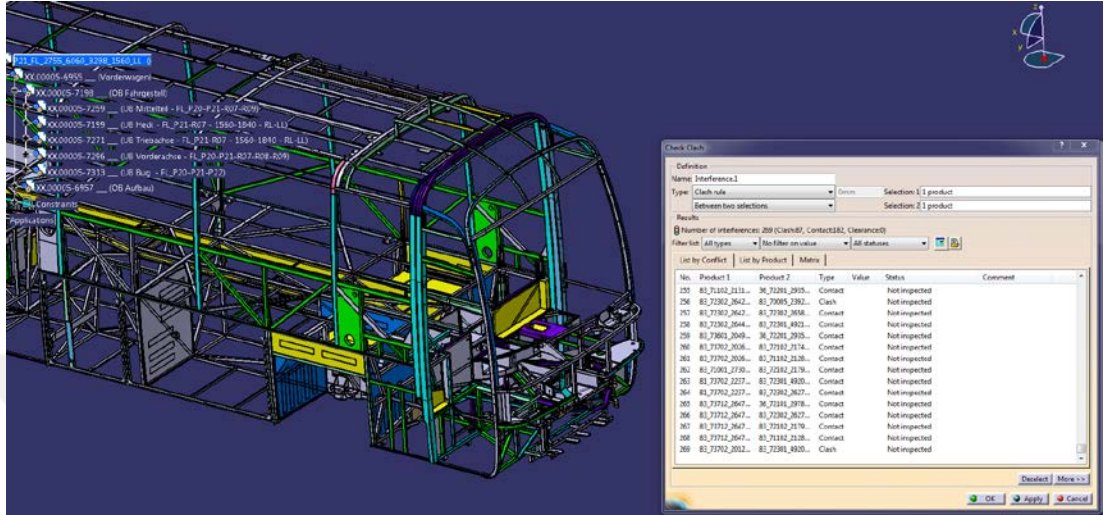
3.7. Çapılma ve Artık Gerilme Analizi

3.7.1. Clash analizinin yapılması

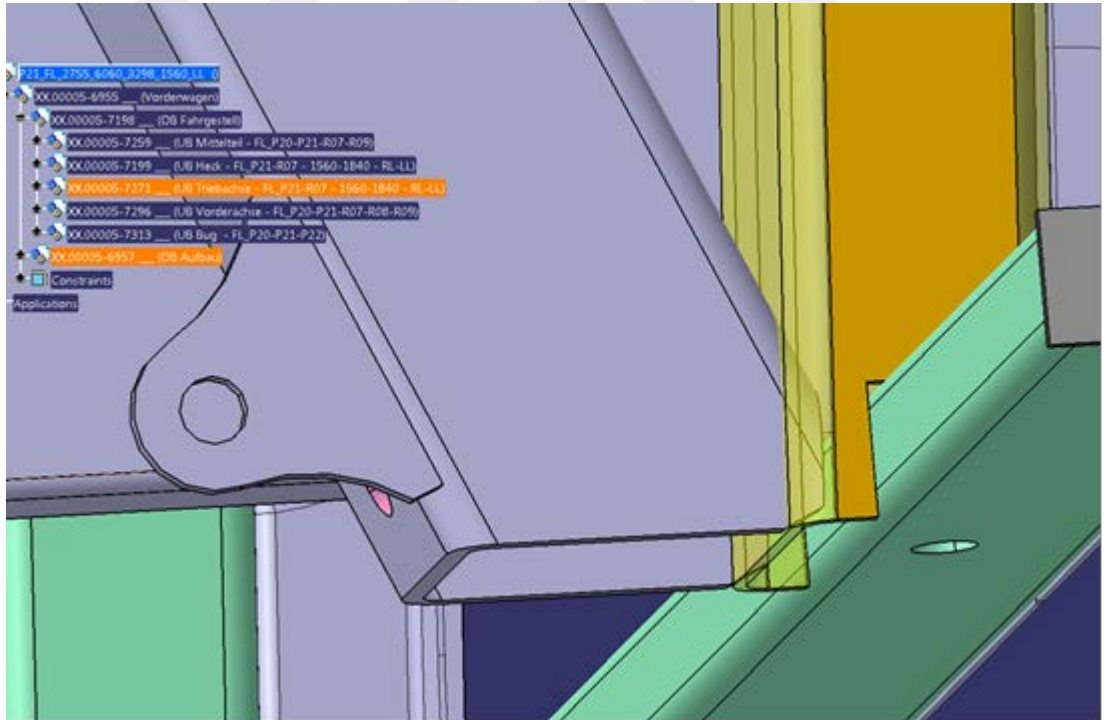
Clash analizi, Catia V5 programı üzerinde, otobüs komponentlerinin 3 boyutlu dataları üzerinde çakışma analizleri şeklinde yapılmıştır. Bu sayede datadaki hatalar düzeltilip gerçeğe en yakın sonuçlar elde edilmesi için data doğruluğu sağlanmıştır.

Clash analizi, Catia V5 programının modüllerinden biridir. Bu modül ile data içerisinde çakışma olup olmadığı kontrol edilmektedir. Her komponent ayrı ayrı üretildiği gibi tasarımı da farklı bölümler ve farklı tasarımcılar tarafından yapılmaktadır. Bazı durumlarda, bu bölümler koordineli çalışmadığında, özellikle bu komponentlerin birleşim noktalarında çakışmalar meydana gelmektedir. Şekil 52'de görüldüğü üzere, veri

üzerindeki çakışmalar aynı zamanda parçaların doğrusalıklarında da problemlere sebep olmaktadır. Ayrıca mesh modelin hazırlanması öncesinde data doğruluğu önem taşımaktadır.



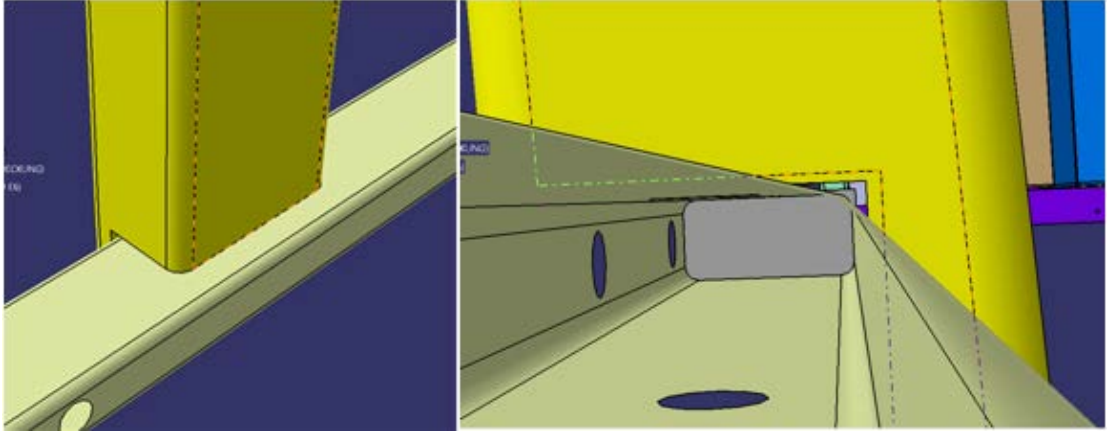
Şekil 52. Catia V5 clash analizi



Şekil 53. Clash analizi ile bulunan hata örneği

3.7.2. Shell metot için ara yüzelerin hazırlanması

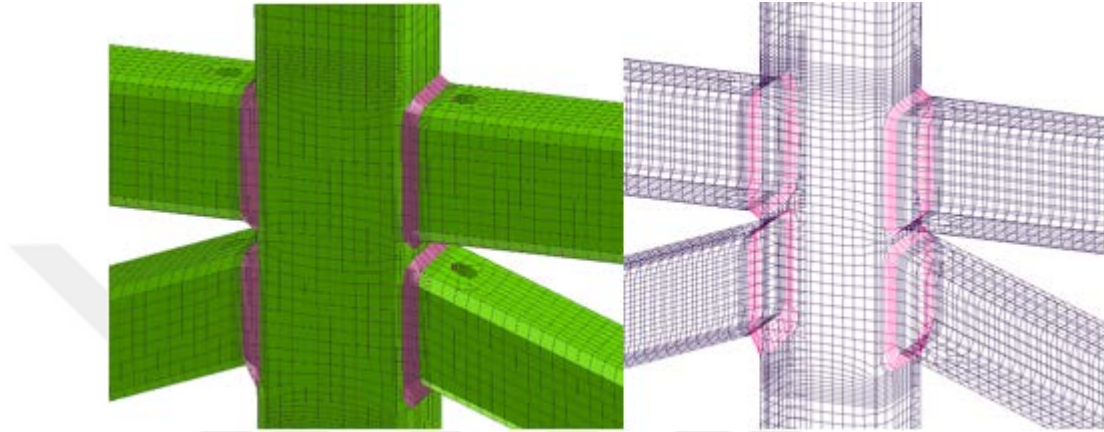
Profillerde kaynak analizi yapmaya en uygun mesh yöntemi shell metodudur. Bu sebeple otobüs iskelet komponentlerinin ara yüzeleri Catia V5 programı ile çıkarılacaktır. Bu ara yüzeler çıkarıldığında parça boyları parçanın kalınlığı kadar kısa olacaktır. Bu bölgelerde CATIA yazılımının yüzey modülünde uzatılarak paçaların mesh öncesi hazırlığı için yapılacaktır. Parçaların boyları et kalınlığı kadar kısalmaktadır. Şekil 54’de görülebileceği üzere ara yüzey çıkarılınca, parçaların arasında boşluk oluşmaktadır. Catia V5 generative shape design modülü ile bu mesafeler yüzeyler uzatılarak parçaların birbiri ile örtüşmesi sağlanmıştır. Parçalar birbirine tam olarak örtüştürülerek mesh yapılması Weldplanner programı ile yapılmıştır. Otobüs komponentini oluşturan tüm parçalar bu şekilde hazırlanmıştır.



Şekil 54. Shell metot için çıkarılan ara yüzeler

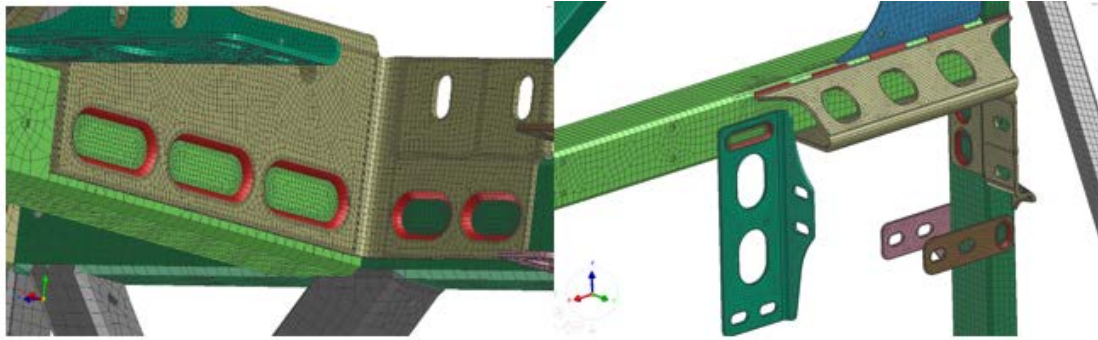
Weldplanner yazılımı ile artık gerilim ve faz dönüşümleri incelenmiştir. Parçanın detayına bakıldığında mesh yöntemi 3D solidmesh yöntemi ile yapılmıştır. Detaylı faz dönüşümü ve artık gerilim incelemesi yapıldığı için, 2D shellmesh yöntemi tercih edilmemiştir. 3D solidmesh yöntemi ise, kalınlık yönünde iç gerilmelerin miktarları, faz dönüşümleri belirlenebilmiştir. 3D solidmesh yönteminin bir diğer avantajı ise, daha detaylı ve hassas sonuç vermesidir.

Mesh modeli hazırlanırken, kaynak bölgelerinde daha detaylı ve hassas sonuç arandığı için, kaynak bölgelerinde daha sıkı mesh yapılmıştır. Otobüs componentlerinin ara yüzeyleri çıkarıldıktan sonra bu data üzerinden mesh ağı örülmeye başlanmıştır. Bu işlem ile simülasyon için gerekli olan bölgelerin ağ yapısı oluşturulması işlemi yapılmaktadır. Şekil 55’de kaynak bölgelerindeki sık mesh yapısı görülmektedir.



Şekil 55. Kaynak bölgesi mesh yapısı

Kaynaktan uzaklaştığı noktalarda daha az mesh yapılmıştır. Şekil 56’da verilen görselde kırmızı ile gösterilen bölge kaynak dikişini simüle etmektedir.



Şekil 56. Mesh yapısı detay

3D solidmesh yöntemi ile analiz yapılırken, çok yüksek düzeyde veri toplandığı için, analiz parçalara ayrılarak yapılmıştır. Tamamen bir araç componentinin analizini yapmak yerine, bölgelere ayrılarak analizler yapılmıştır.

3.7.3. Malzeme karakterizasyonu

Otobüs iskeleti, S315MC ve S460MC çeliklerinin gaz altı (MAG) kaynak yöntemi ile kaynatılarak birleştirilmesi ile oluşmaktadır. Bu çelikler ince taneli düşük alaşımlı çeliklerdir. Bu malzemelerin kaynak davranışının incelenmesi ve aynı zamanda Weldplanner programını veri sağlayabilmesi için malzeme datasının oluşturulması gerekmektedir.

Weldplanner programı malzeme datası olarak, true-stress strain diyagramlarına ihtiyaç duymaktadır. S315MC ve S460MC çelikleri için çekme testleri yapılmış ve buradan true stress- strain diyagramları çıkarılmıştır.

Çekme testi, test cihazının ana şalteri açıldıktan sonra hidrolik ünitedeki yeşil ışığın yanması beklenir. Bilgisayarda çekme testi yazılım programı çalıştırılır. Yapılacak testin ve numunenin karakterine göre cihaz yazılımında malzemeye göre program seçimi yapılır. Cihazın “on” düğmesine basılır ve ekrandaki kırmızı bilgi şeridinin beyaz olması beklenir. Cihazın çeneleri testi yapılacak malzemeye uygun değilse çeneler değiştirilir. Ekstansiyometrenin uçları numune ile uyumlu olacak şekilde çevrilir. Cihaz programında çeneler arası ilk uzunluk butonundan(start position) cihaz başlangıç pozisyonuna getirilir. Cihaz üzerindeki skalayla programda girilmiş uzunluklar karşılaştırılır. Çeneler arası uzunluk ölçülür, programdaki başlangıç verileriyle karşılaştırılır. Numune boyutları ölçülerek programa girilir. Parçanın ilk uzunluğuna göre ekranda ekstansiyometre menüsünde uzunluk bilgisi güncellenir. Cihaz üzerinde numunenin dayanacağı referans seçilir ve numune üzerinde işaretleme yapılır. Menüde F0 yük boşaltma butonundan sistemde bulunan yük alınıp programın sayfasında kırmızı bulunan araç çubuğu yeşil oluncaya dek beklenir. Numune cihaz üzerindeki kontrol kumandasından üst çenelere sıkıştırılır. Numune cihaza bağlandıktan sonra tekrar menüden F0 yük boşaltma butonuna basılır. Cihazın kapısı kapatılır, alt çeneler kapatılır ve programdan başla butonuna basılır, test başlatılır. Son 24 saatlik datalogger ölçüleri kontrol edilir. Test sonunda çıkan değerler, ilgili malzeme normuna göre değerlendirilir.

Test report

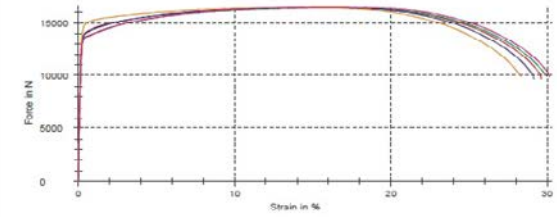
Customer : Material :
 Job no. : Tester :
 Test standard : Note :
 Type and designation :
 Pre-load : 2 MPa Speed in the yield range : 0,00025 1/s
 Speed, Youngs Modulus : 60 MPa/s Test speed : 0,008 1/s
 Speed, yield point : 60 MPa/s

Test results:

No.	L ₀ mm	f ₀ GPa	R _{0.2} MPa	R _{0.01} MPa	R _{0.05} MPa	R _m MPa	A _g %	R _e MPa	A ₅ %	a ₀ mm	b ₀ mm	S ₀ mm ²	Notes
1	35,00	202	371	-	-	437	14,0	255	20,5	3,78	0,03	37,54	M16_329
2	35,00	203	362	-	-	436	15,7	264	20,8	3,78	0,04	37,57	M16_329
3	35,00	215	369	-	-	437	14,7	257	20,0	3,78	0,04	37,57	M16_329
4	35,00	222	383	-	-	439	13,8	265	20,2	3,78	0,04	37,35	M16_329
5	35,00	187	360	-	-	435	15,6	261	20,0	3,78	0,04	37,76	M16_329

No.	Date/Clock time
1	26.03.2018 11:08:01
2	26.03.2018 11:11:26
3	26.03.2018 11:14:05
4	26.03.2018 11:15:49
5	26.03.2018 11:17:50

Series graph:



Şekil 57. S315MC çeliğin çekme sonucu

Test report

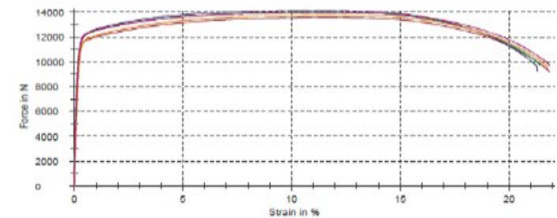
Customer : Material :
 Job no. : Tester :
 Test standard : Note :
 Type and designation :
 Pre-load : 2 MPa Speed in the yield range : 0,00025 1/s
 Speed, Youngs Modulus : 60 MPa/s Test speed : 0,008 1/s
 Speed, yield point : 60 MPa/s

Test results:

No.	L ₀ mm	f ₀ GPa	R _{0.2} MPa	R _{0.01} MPa	R _{0.05} MPa	R _m MPa	A _g %	R _e MPa	A ₅ %	a ₀ mm	b ₀ mm	S ₀ mm ²	Notes
1	30,00	297	508	-	-	604	11,3	411	21,7	2,84	7,89	22,41	M16_328
2	30,00	1610	487	-	-	621	11,1	430	21,4	2,84	7,62	22,49	M16_328
3	30,00	306	524	-	-	626	11,0	409	21,2	2,84	7,94	22,55	M16_328
4	30,00	213	520	-	-	615	11,0	427	21,6	2,84	7,88	22,32	M16_328
5	30,00	386	514	-	-	612	11,2	425	21,8	2,84	8,02	22,78	M16_328

No.	Date/Clock time
1	24.03.2018 14:33:42
2	24.03.2018 14:35:25
3	24.03.2018 14:37:10
4	24.03.2018 14:38:58
5	24.03.2018 14:40:48

Series graph:

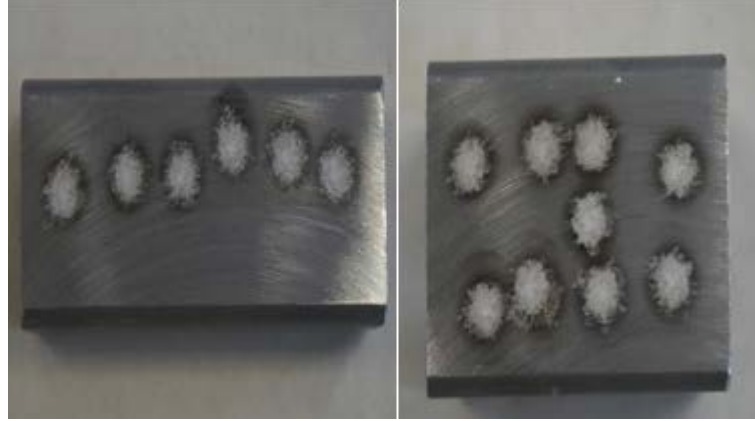


Şekil 58. S460MC çeliğin çekme sonucu

Aynı zamanda malzemelerin kimyasal kompozisyonları da teyit edilmiştir. Laboratuvarında spektral analizler yapılarak bu malzemelerin kimyasal özellikleri çıkarılmıştır. Numuneler, Şekil 60'da analiz sonuçları ise Şekil 61'de gösterilmiştir. Spektral analiz için kullanılan cihaza ait görüntü Şekil 59'da verilmiştir.



Şekil 59. Spektral analiz cihazı



Şekil 60. Spektral analizi yapılan numune parçaları

	C%		Mn%		Si%		P%		S%		Al%(min)	
S460MC	0,091	0,12	1,03	1,60	0,022	0,50	0,008	0,025	0,006	0,015	0,03	0,015
S315MC	0,046	0,12	0,38	1,30	0,001	0,50	0,008	0,025	0,008	0,020	0,016	0,015
	Nb%		V%		Ti%		Mo%		B%			
S460MC	0,046	0,09	0,05	0,20	-	0,15	0,004	-	-	-	Standard	
S315MC	0,02	0,09	0,001	0,20	-	0,15	0,029	-	-	-	Ortalama	

Şekil 61. S315MC ve S460MC çeliklerinin kimyasal analizleri

Literatüre göre bu çeliklerin kimyasal komponentlerin maksimum ve minimum değerleri Şekil 62'deki gibidir.

Güte Steel Grade	Bezeichnung nach SEW 092	Prüfrichtung Testing	Werkstoff-Nr.	Streckgrenze Yield Point Rp0,2 (MPa)	Zugfestigkeit Strength Rm (MPa)	Dehnung in % min. Elongation in % min.		Chemische Zusammensetzung / Chemical Properties										
						<3 mm A _{50mm}	>3 mm A ₅	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Al %	Nb ^H %	Ti ^H %	V ^H %	Mo %	B %
S315MC	Q35E340TM	L	1.0972	315	390 - 510	20	24	≤ 0,12	≤ 0,5	≤ 1,30	≤ 0,025	≤ 0,020	≥ 0,015	≤ 0,09	≤ 0,15	≤ 0,20	-	-
S355MC	Q35E380TM	L	1.0976	355	430 - 550	19	23	≤ 0,12	≤ 0,5	≤ 1,50	≤ 0,025	≤ 0,020	≥ 0,015	≤ 0,09	≤ 0,15	≤ 0,20	-	-
S420MC	Q35E460TM	L	1.0980	420	480 - 620	16	19	≤ 0,12	≤ 0,5	≤ 1,60	≤ 0,025	≤ 0,015	≥ 0,015	≤ 0,09	≤ 0,15	≤ 0,20	-	-
S460MC	Q35E500TM	L	1.0982	460	520 - 670	14	17	≤ 0,12	≤ 0,5	≤ 1,60	≤ 0,025	≤ 0,015	≥ 0,015	≤ 0,09	≤ 0,15	≤ 0,20	-	-
S500MC	Q35E550TM	L	1.0984	500	550 - 700	12	14	≤ 0,12	≤ 0,5	≤ 1,70	≤ 0,025	≤ 0,015	≥ 0,015	≤ 0,09	≤ 0,15	≤ 0,20	-	-
S550MC	Q35E600TM	L	1.0986	550	600 - 760	12	14	≤ 0,12	≤ 0,5	≤ 1,80	≤ 0,025	≤ 0,015	≥ 0,015	≤ 0,09	≤ 0,15	≤ 0,20	-	-
S800MC	Q35E650TM	L	1.8969	600	650 - 820	11	13	≤ 0,12	≤ 0,5	≤ 1,90	≤ 0,025	≤ 0,015	≥ 0,015	≤ 0,09	≤ 0,22	≤ 0,20	≤ 0,50	≤ 0,005
S650MC	Q35E 700TM	L	1.8976	650 ^H	700 - 880	10	12	≤ 0,12	≤ 0,6	≤ 2,00	≤ 0,025	≤ 0,015	≥ 0,015	≤ 0,09	≤ 0,22	≤ 0,20	≤ 0,50	≤ 0,005
S700MC	Q35E 740TM	L	1.8974	700 ^H	750 - 950	10	12	≤ 0,12	≤ 0,6	≤ 2,10	≤ 0,025	≤ 0,015	≥ 0,015	≤ 0,09	≤ 0,22	≤ 0,20	≤ 0,50	≤ 0,005
S900MC	-	L	1.8798	900	930 - 1200	7	8	≤ 0,20	≤ 0,6	≤ 2,20	≤ 0,025	≤ 0,010	≥ 0,015	≤ 0,09	≤ 0,25	≤ 0,20	≤ 1,00	≤ 0,005
S960MC	-	L	1.8799	960	980 - 1250	6	7	≤ 0,20	≤ 0,6	≤ 2,20	≤ 0,025	≤ 0,010	≥ 0,015	≤ 0,09	≤ 0,25	≤ 0,20	≤ 1,00	≤ 0,005

Şekil 62. European Steel Business Group'un 2019 yılı veri tabanındaki, termomekanik olarak haddelenmiş çeliklerin kimyasal kompozisyonu

BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Alevle Doğrultma İşlemi

Doğrultma prosesi sırasında, çelik profiller kolay şekillendirmek adına önce tavlaniyor (östenitleme sıcaklığının üzerine çıkılıyor). Daha sonra balyozla dövülerek istenilen ölçülere getirilmeye çalışıyor. Metalin ısı iletkenliğinin yüksek olması, bu bölgelerin hızlı soğumasına ve faz dönüşümlerine sebebiyet veriyor. Çeliklerin düşük karbonlu olması martensit oluşma ihtimalini sıfıra indiriyor. Üretim bandımızda bu çeliklerde martensit gibi aşırı gevrek bir fazın oluşmasına fırsat verecek kadar hızlı bir soğuma oranı yoktur. T kaynak şeklinde birleştirilmiş iki profilden biri tavlaniyor balyozla dövülmüştür. Profillerin karakterizasyon sonuçları aşağıdaki gibi çıkmıştır.

4.1.1. Alevle doğrultma işlemi yapılmış malzeme karakterizasyonu

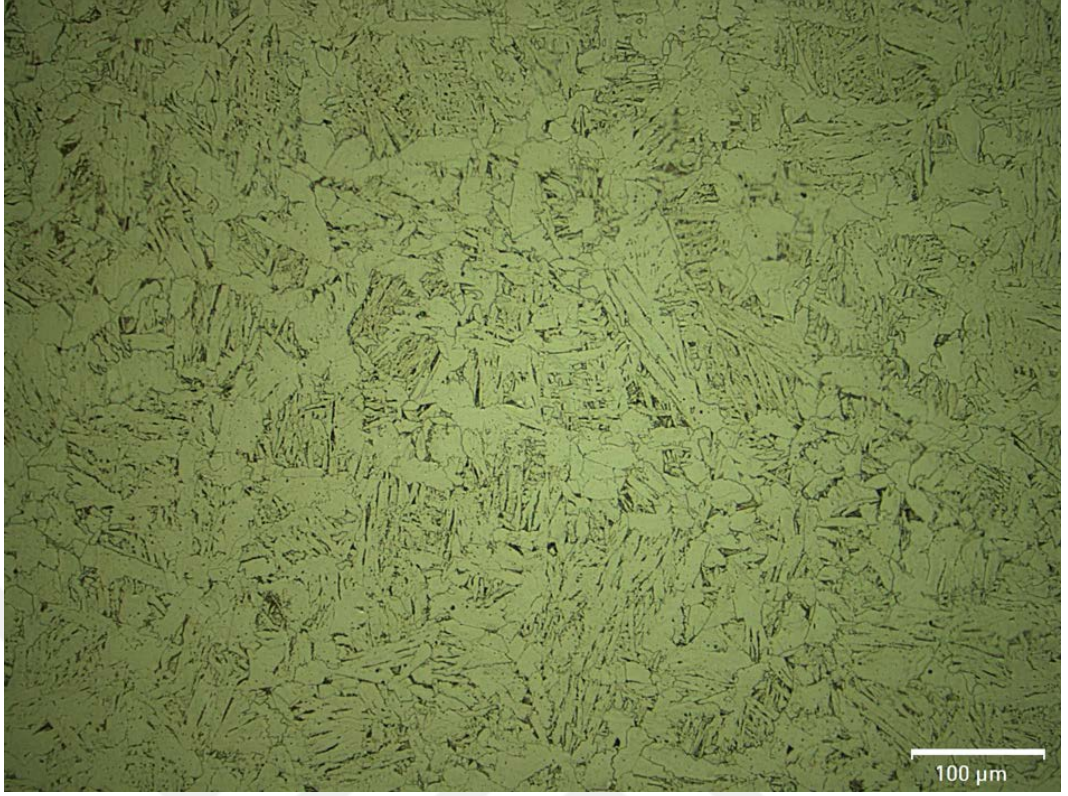
İşlem görmüş parçaya ait malzeme karakterizasyonu aşağıda gibi belirlenmiştir.

element	C	Si	Mn	Cr	Ni	Al	Fe
oran	0.0871	0.0128	1.01	0.0202	0.0122	0.0364	98.6

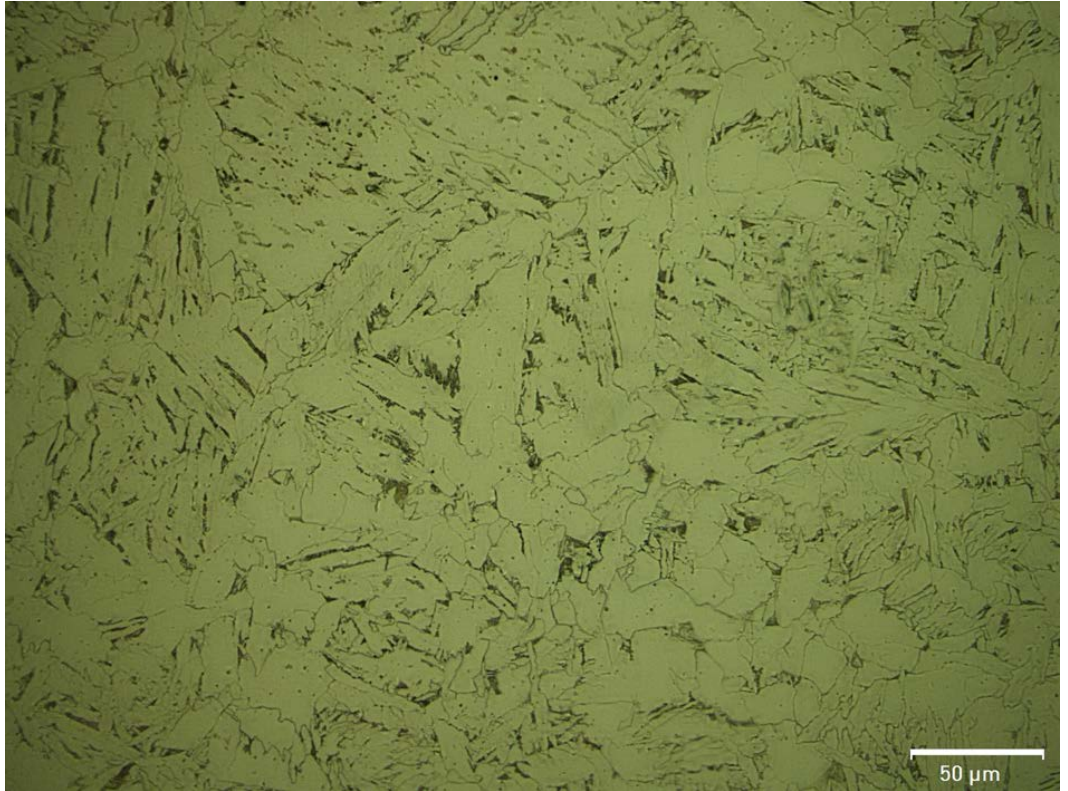
Şekil 63. Alevle doğrultma işlemi yapılmış malzemede spektral analiz sonucu

Sertlik değeri, 195,5 HB'dir.

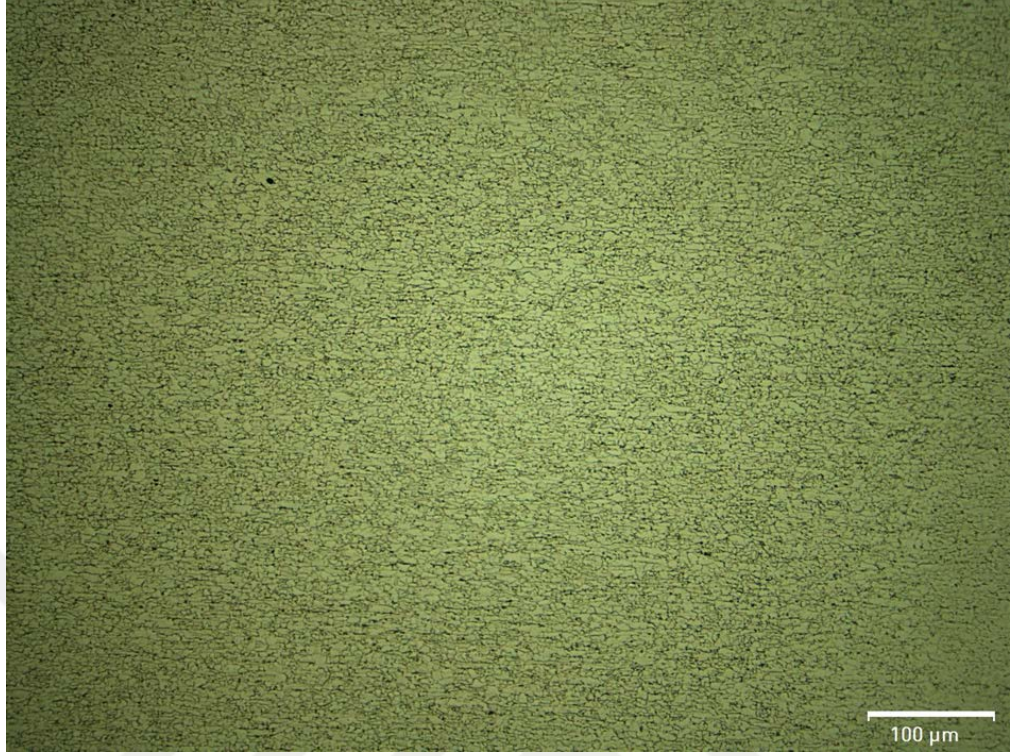
Alevle doğrultma işlemi uygulanmış profile ait mikro yapı fotoğrafları Şekil 64, 65, 66 ve 67'deki gibidir.



Şekil 64. Tavlama dövdürölmüş geniş yüzeye (yüzey normali kuvvet ile paralel) ait optik mikroskop görüntüsü, 500x büyütme



Şekil 65. Tavlama dövdürölmüş geniş yüzeye ait optik mikroskop görüntüsü, 1000x büyütme



Şekil 66. Tavlama dövdürölmüş yan yüzeyine(yüzey normali kuvvete dik) ait optik mikroskop görüntüsü, 500x büyütme



Şekil 67. Tavlama dövdürölmüş yan yüzeye ait optik mikroskop görüntüsü, 1000x büyütme

4.2.1. Alevle doğrultma işlemi yapılmamış malzeme karakterizasyonu

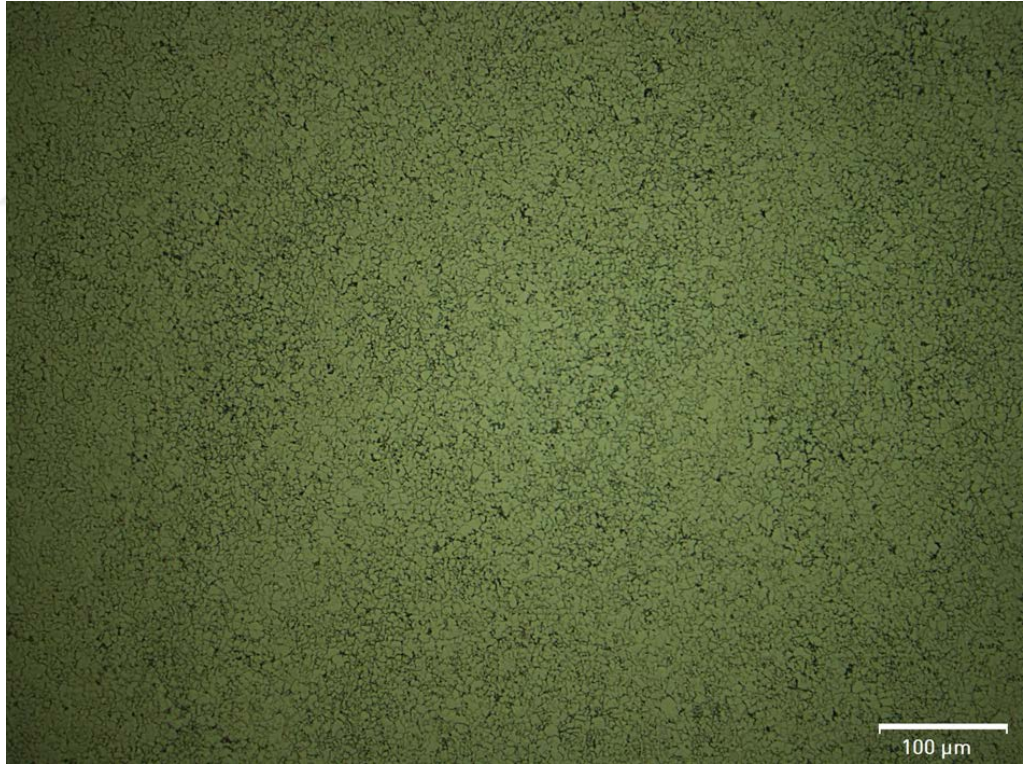
İşlem görmemiş parçaya ait malzeme karakterizasyonu aşağıda belirlenmiştir gibi.

element	C	Si	Mn	Cr	Ni	Al	Fe
oran	0.0861	0.0128	1.01	0.0196	0.0122	0.0363	98.6

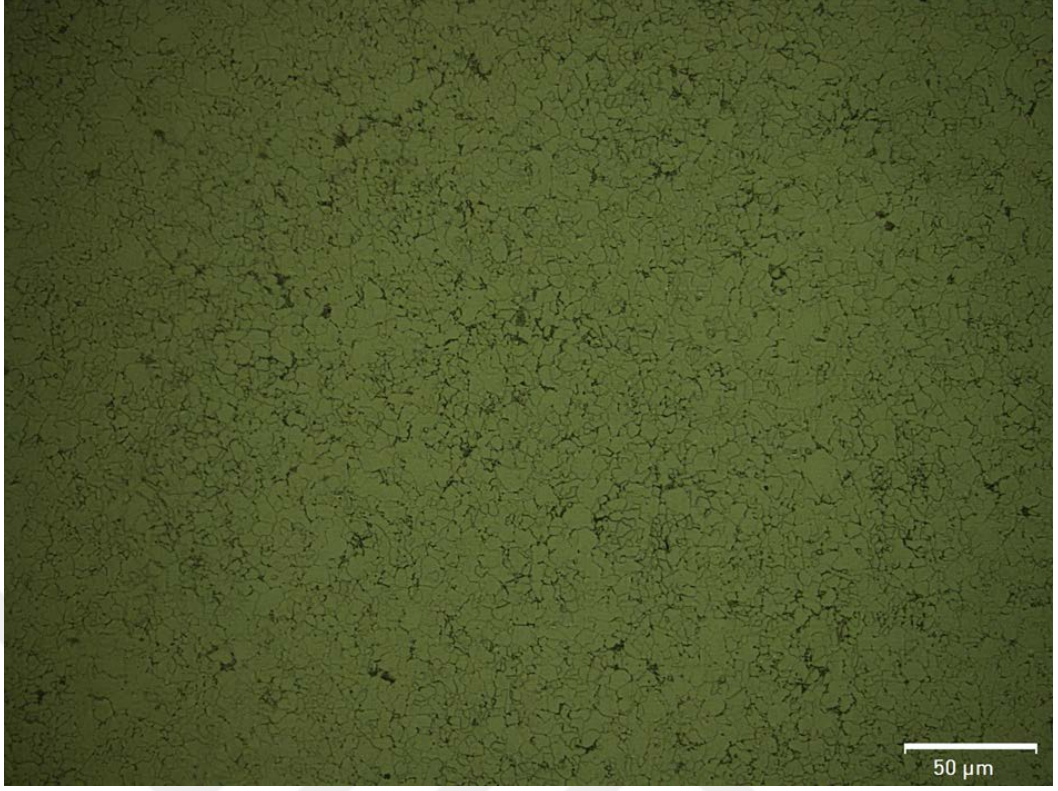
şekil 68. Alevle doğrultma işlemi yapılmamış malzemede spektral analiz sonucu

Sertlik değeri, 183,2 HB'dir.

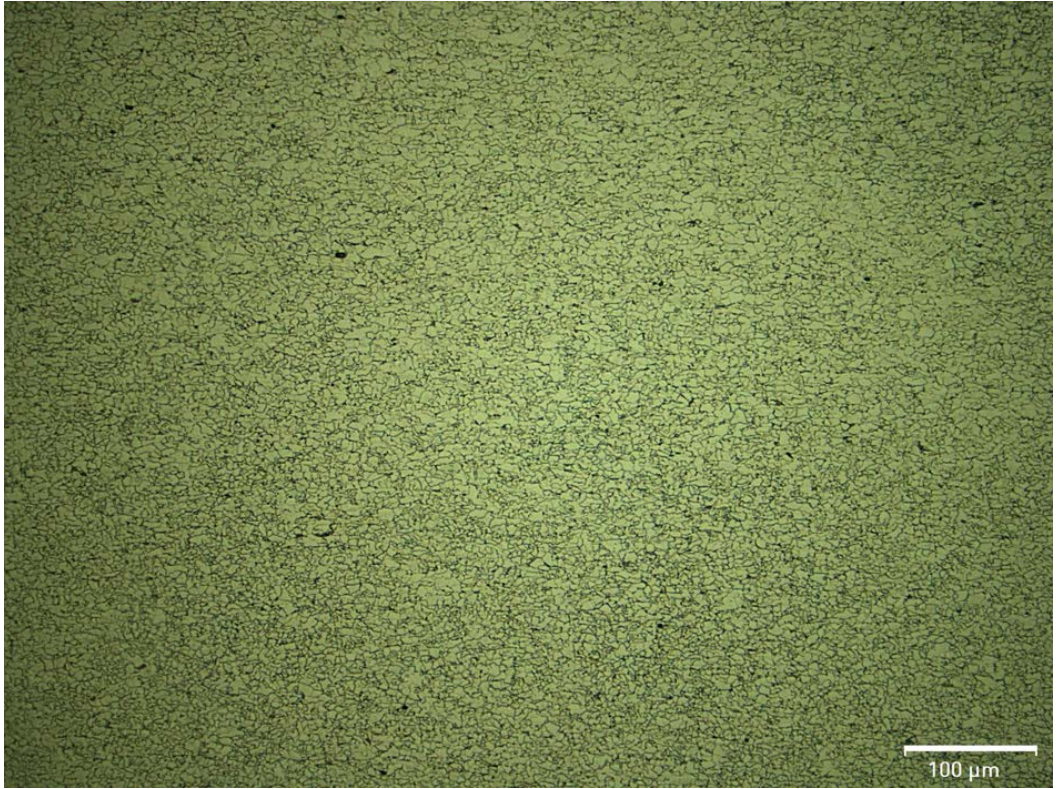
Alevle doğrultma işlemi uygulanmamış profile ait mikro yapı fotoğrafları şekil 69, 70, 71 ve 72'de verilmiştir.



şekil 69. İşlem görmemiş profilin geniş yüzeyine (yüzey normali kuvvet ile paralel) ait optik mikroskop görüntüsü
500x



Şekil 70. İşlem görmemiş profilin geniş yüzeyine ait optik mikroskop görüntüsü 1000x



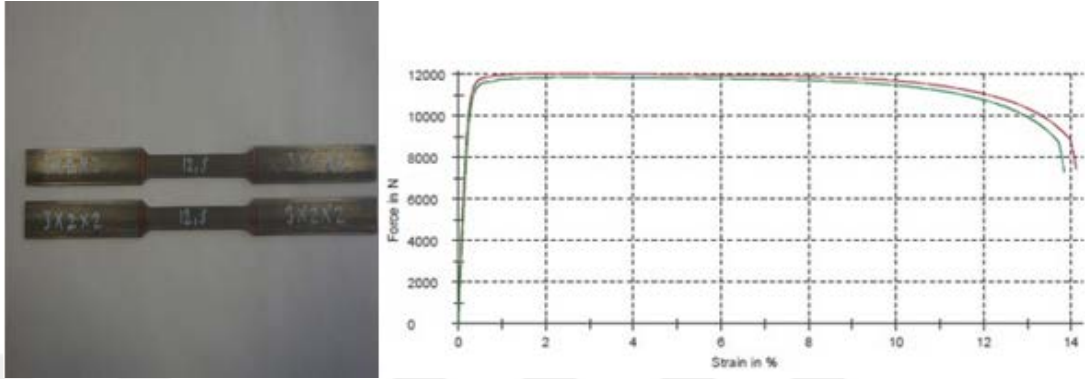
Şekil 71. İşlem görmemiş profilin yan yüzeyine(yüzey normali kuvvete dik) ait optik mikroskop görüntüsü 500x



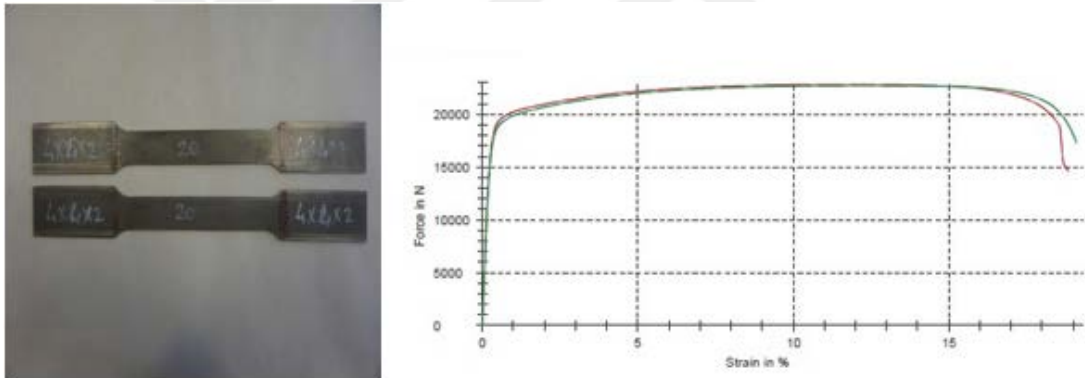
Şekil 72. İşlem görmemiş profilin yan yüzeyine(yüzey normaline dik) ait optik mikroskop görüntüsü 1000x

Doğrultma işlemi, her komponent üretiminden sonra ve çalma işleminden sonra yapılır. Bu işlem, mekanik olarak plastik deformasyon yapılarak gerçekleştirilir. Mekanik işlem yapılmadan önce işlem yapılacak bölge, ısıl işleme tabii tutulur. Bu işlem sırasında malzeme sıcaklığı 800 °C'ye kadar çıkar. Bu sıcaklık yeniden kristallenme sıcaklığıdır. Bu sıcaklıkta çelik içindeki ferrit ve sementit fazları östenit fazına dönüşür. Östenit fazı daha yumuşak bir faz olduğu için daha kolay şekillendirilir. Mekanik işlemden sonra oluşan östenit fazının taneleri ezilerek yönelim gösterir. Bunun sonrasında soğuma ile beraber östenit fazı tekrar ferrit ve sementit fazlarına dönüşür. Bu dönüşüm ve tane sınırlarındaki yönelmeler mekanik özellikleri direkt etkiler. Ayrıca, bu sıcaklıktan oda sıcaklığına inme sürecinde havada soğuma ile gerçekleşen yeni fazlar malzemenin mekanik özelliklerini etkiler. Ancak S315MC ve S460MC çeliklerinin içerisindeki alaşım miktarları çok az olduğu için östenitten martensit fazı oluşumu için havada soğumadan çok daha hızlı bir soğuma gerekecektir.

Alevle doğrultma işlemi uygulanmış test parçalarının çekme testi sonuçları ve mukavemete olan etkisi irdelenmiştir. Bu teste ait veriler, numune parçaları aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



şekil 73. Tavlalı, dövülmüş S315MC numunesi ve numuneye ait çekme deneyi eğrisi

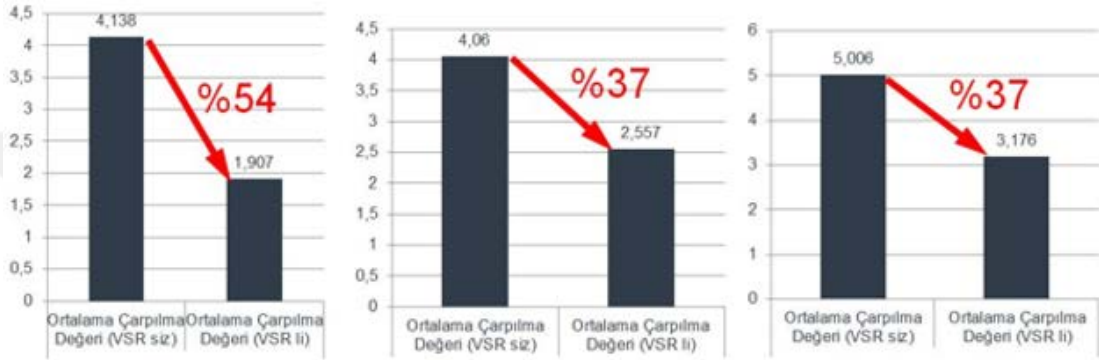


şekil 74. Tavlalı, dövülmüş S460MC numunesi ve numuneye ait çekme deneyi eğrisi

4.3. Geleneksel Yöntem ile Titreşimle Gerilim Giderme Yönteminin Karşılaştırılması

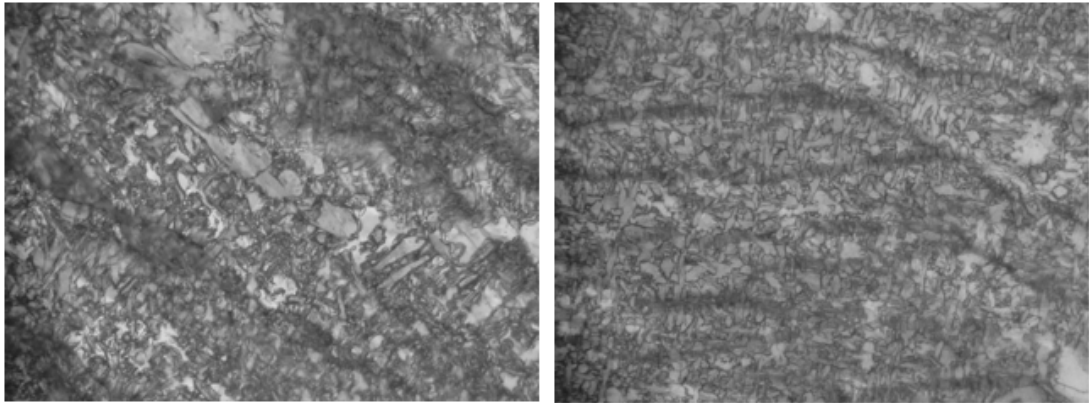
Arka taban komponentinin ölüm sonuçları için, VSR (Titreşimle gerilim giderme) ve geleneksel yöntemi kıyasladığımızda, 5-9 mm arasında yoğunluk gösteren çarpılmaların gözlemlendiği geleneksel yönteme göre, VSR ile kaynatılan arka taban grubunda bu değer, 1-4 mm arasında değişmektedir.

Yapılan ölçümler sonucu ortalama çarpılma değerlerinde Şekil 75’de gösterildiği üzere x, y ve z eksenlerinde sırasıyla %54 ve diğer 2 eksen de %37 şer azalma gözlemlenmiştir. Titreşim yöntemi ile üretilen arka taban komponenti, geleneksel olarak üretilen komponente göre ortalama %42 daha az çarpılmaya maruz kalmaktadır. Bu da beraberinde daha az doğrultma işçiliği sağlamaktadır. Arka taban komponentinde titreşim ile üretimin yıllık üretim miktarı ve mevcut durumda harcanan doğrultma işçilik giderleri göz önünde bulundurularak, yıllık kazanç miktarı tespit edilebilir.



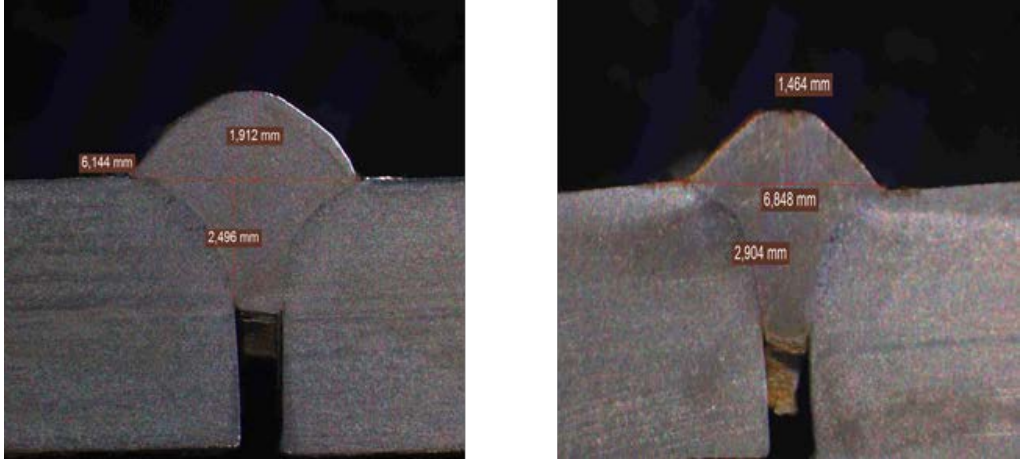
Şekil 75. Arka taban titreşimsiz ve titreşimli x, y, z eksenleri ortalama çarpılma yüzdeleri

VSR ile ve geleneksel yöntemle kaynatılan parçaların mikro yapıları da incelenmiştir. İnceleme sonuçlarına göre VSR’nin mikro yapı üzerine bir etkisi olmadığı görülmüştür.



Şekil 76. Titreşim uygulanmış (solda) ve titreşim uygulanmamış (sağda) numunelerin mikro yapı analizi sonuçları

Şekil 76’da görüldüğü üzere, iki parçada da, perlit ve ferrit tabakaları görülmektedir. Mikro yapılar incelendiğinde iki numunede de martensitik dönüşüm olmamıştır. Parçaların ısıdan etkilenmiş alanları kıyaslandığında ise bariz bir farka rastlanmamıştır.



Şekil 77. Titreşim uygulanmamış (solda) ve titreşim uygulanmış (sağda) kaynak dikişi makro kesiti

Nüfuziyet üzerinde etkisi Şekil 77’de de görüldüğü üzere az da olsa vardır. Nüfuziyet azlığı kaynak dikişinin başta yorulma mukavemetinin önemli derecede düşmesine neden olur. Bu olumsuz duruma karşı etki az da olsa yine malzeme üzerindeki titreşim etkisinin artışı ortaya koyulmaktadır.

Rezonanssız titreşim ile gerilim giderme çalışması göstermektedir ki kaynak artık geriliminin azalması, kaynak alanı çevresindeki plastik deformasyon tarafından tetiklenir. Plastik deformasyon ise, titreştirici tarafından oluşturulan eğme yükünün etkisiyle meydana gelir (Yang ve diğerleri, 2005, para. 16).

Rezonanslı titreşimlerde gerilim giderme büyük yapılarda kullanılabilir. Küçük bir yük, rezonanslı frekans ve alt rezonanslı frekans büyük yüklerde uygulanır. Sonra, yer değiştirmeyi tetikleyen yük istenilen seviyeye yükseltilir ki böylece kaynak artık gerilimi giderebilsin (Yang ve diğerleri, 2005, para. 21).

Rezonanslı ve rezonanssız titreşim ile gerilim giderme çalışmaları sonucu ortaya çıkan başlıca bulgular aşağıdaki gibidir:

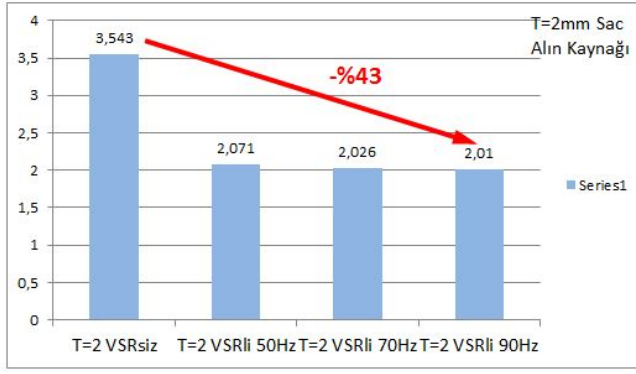
- a. Yük genişliği, kaynak artık gerilimi azaltmak için anahtar parametredir. Rezonanssız titreşim ile gerilim giderme için, büyük genliklere ihtiyaç vardır. Diğer yönden rezonanslı titreşim ile gerilim giderme için, sadece küçük bir uyarı

gerekli ki, bu uyarı kaynak artık gerilimi azaltacak yeterli yük genliğine ulaşmak için yükseltilebilir.

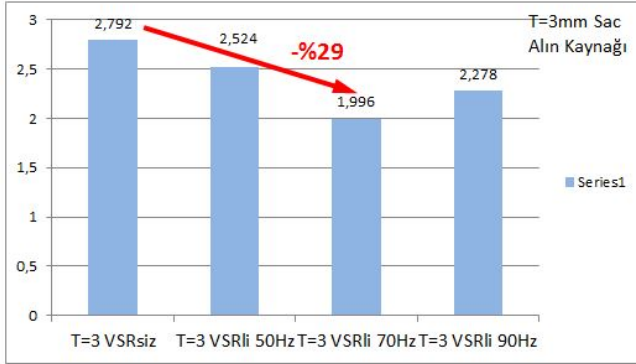
- b. Titreşim ile gerilim gidermede zaman kritik değildir. Rezonansız titreşim ile gerilim giderme için pek çok gerilim giderilmesi ilk yükleme devresinde gerçekleşti. Rezonanslı artık gerilim gidermede, daha fazla yükleme çevrimleri, yük kuvvetlendirme için gereklidir (Yang ve diğerleri, 2005, para. 26).

4.3.1. VSR'li ve VSR'siz robotla kaynak uygulama karşılaştırma sonuçları

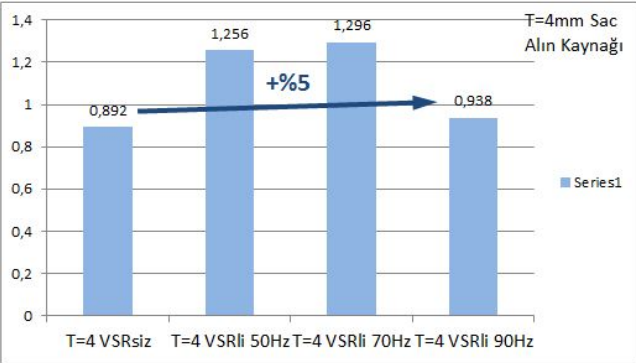
Robotla VSR'li ve VSR'siz kaynak uygulaması çalışmasında elde edilen sonuçların çıktılarının tümü Şekil 78, 79 ve 80'de ki gibidir. Yapılan analizler değerlendirildiğinde, VSR teknolojisiyle çarpılmaların azaltılması noktasında teknolojinin 2 mm'lik ve 3 mm'lik parçalar üzerinde daha verimli olduğu görülmüştür. Şekil 79'da görüldüğü üzere VSR teknolojisi en çok T=3mm sac köşe kaynağı üzerinde etkili olmuştur.



T=2mm Alın Kaynağı-PLAKA	
Durum	Ortalama Çarpılma
T=2 VSRsiz	3,543
T=2 VSRli 50Hz	2,071
T=2 VSRli 70Hz	2,026
T=2 VSRli 90Hz	2,01

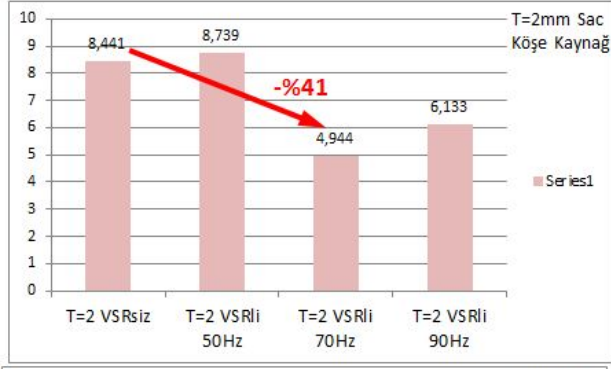


T=3mm Alın Kaynağı-PLAKA	
Durum	Ortalama Çarpılma
T=3 VSRsiz	2,792
T=3 VSRli 50Hz	2,524
T=3 VSRli 70Hz	1,996
T=3 VSRli 90Hz	2,278

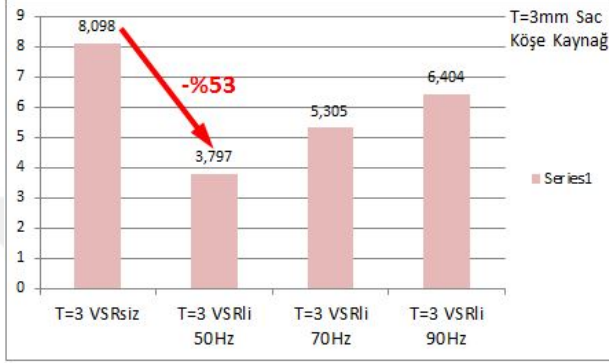


T=4mm Alın Kaynağı-PLAKA	
Durum	Ortalama Çarpılma
T=4 VSRsiz	0,892
T=4 VSRli 50Hz	1,256
T=4 VSRli 70Hz	1,296
T=4 VSRli 90Hz	0,938

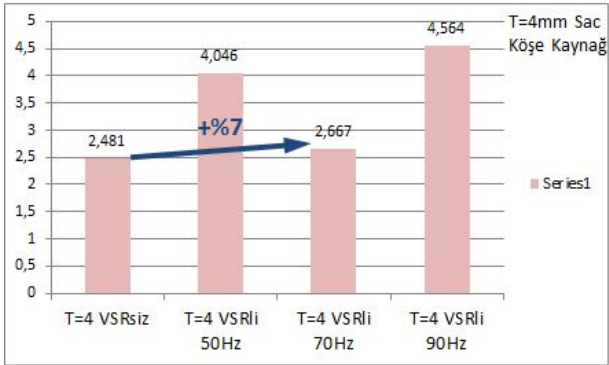
Şekil 78. Sac alın kaynağı 3 boyutlu ölçüm karşılaştırma



T=2mm Köşe Kaynağı-PLAKA	
Durum	Ortalama Çarpılma
T=2 VSRsiz	8,441
T=2 VSRLi 50Hz	8,739
T=2 VSRLi 70Hz	4,944
T=2 VSRLi 90Hz	6,133

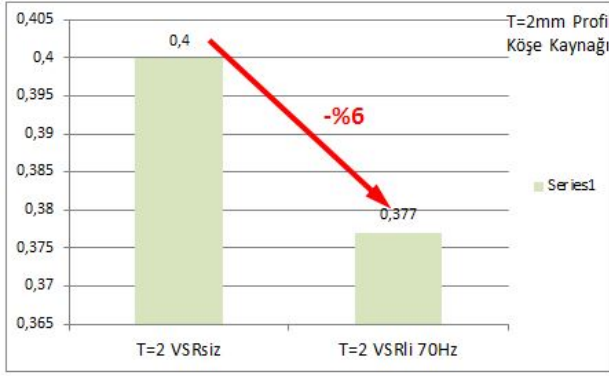


T=3mm Köşe Kaynağı-PLAKA	
Durum	Ortalama Çarpılma
T=3 VSRsiz	8,098
T=3 VSRLi 50Hz	3,797
T=3 VSRLi 70Hz	5,305
T=3 VSRLi 90Hz	6,404

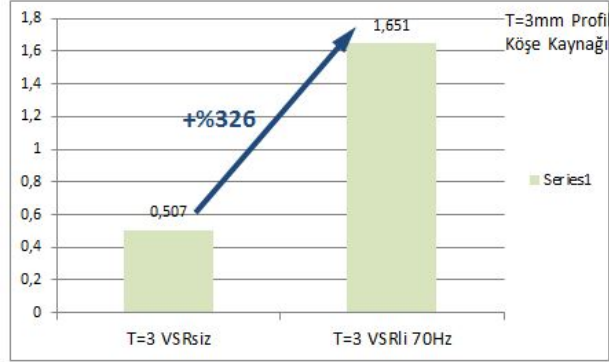


T=4mm Köşe Kaynağı-PLAKA	
Durum	Ortalama Çarpılma
T=4 VSRsiz	2,481
T=4 VSRLi 50Hz	4,046
T=4 VSRLi 70Hz	2,667
T=4 VSRLi 90Hz	4,564

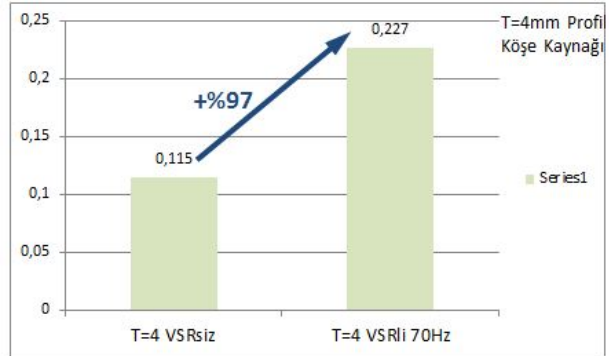
Şekil 79. Sac köşe kaynağı 3 boyutlu ölçüm karşılaştırma



T=2mm Alın Kaynağı-PROFİL	
Durum	Ortalama Çarpılma
T=2 VSRsiz	0,4
T=2 VSRli 70Hz	0,377



T=3mm Alın Kaynağı-PROFİL	
Durum	Ortalama Çarpılma
T=3 VSRsiz	0,507
T=3 VSRli 70Hz	1,651

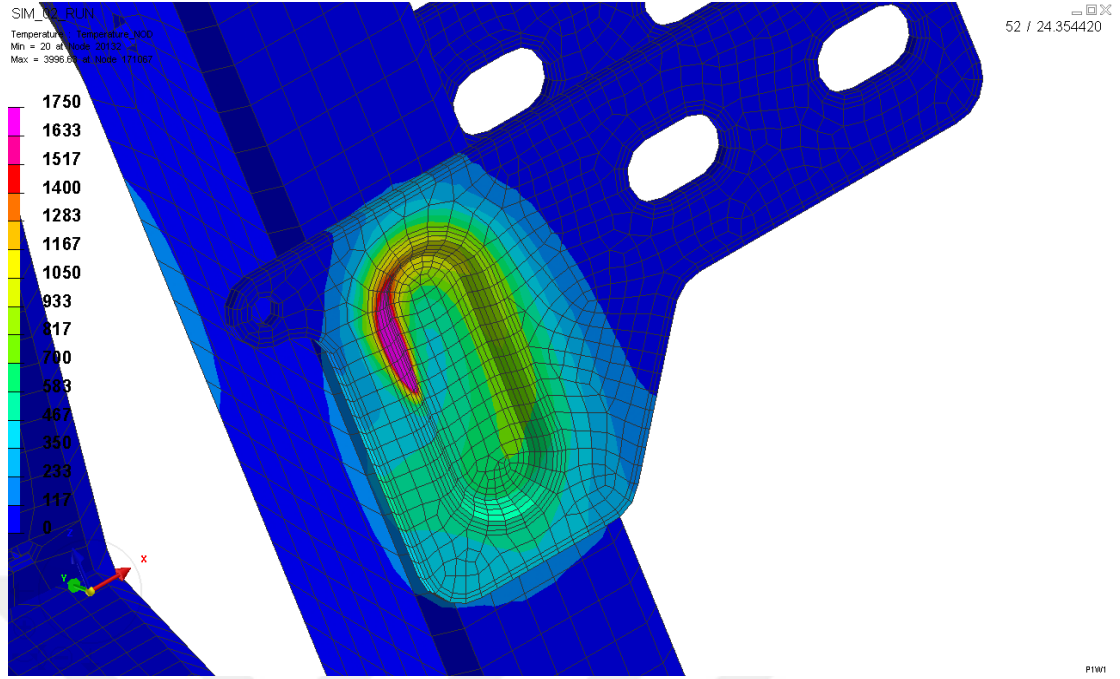


T=4mm Alın Kaynağı-PROFİL	
Durum	Ortalama Çarpılma
T=4 VSRsiz	0,115
T=4 VSRli 70Hz	0,227

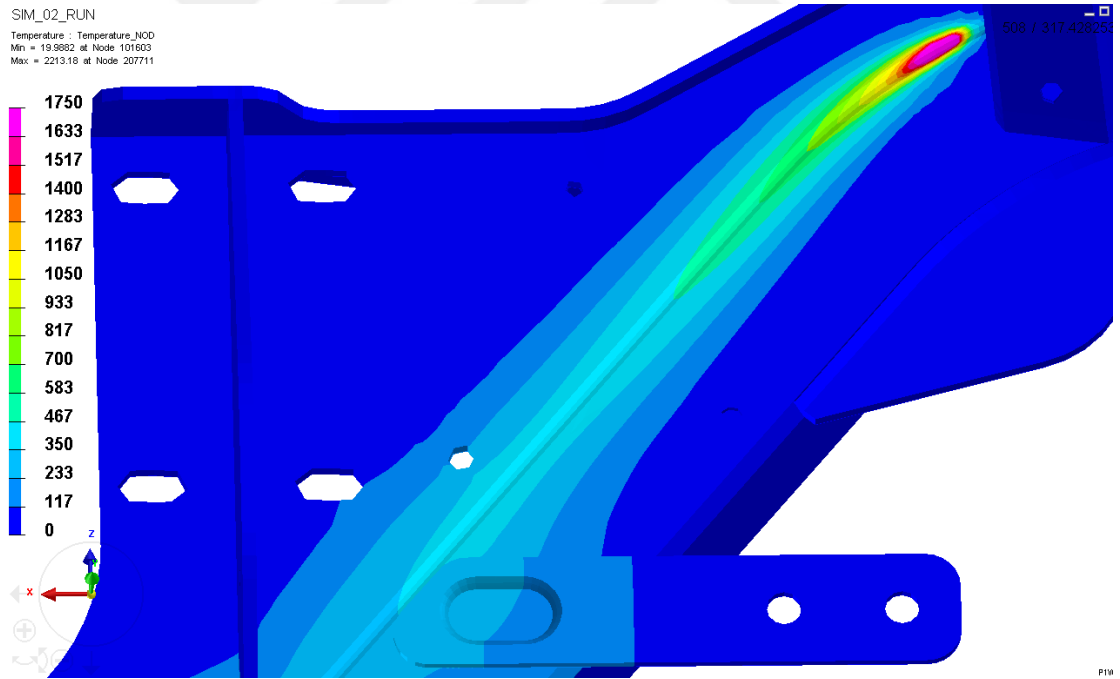
Şekil 80. Profil alın kaynağı 3 boyutlu ölçüm karşılaştırma

4.4. Çarpılma ve Artık Gerilme Analiz Sonuçları

Weldplanner yazılımı ile yapılan analiz sonuçları incelendiğinde, ısı dağılımı Şekil 81 ve 82'de görülebileceği üzere, kaynak bölgesinde yaklaşık olarak 1750 °C olarak hesaplanmıştır. Kaynak bölgesinden uzaklaştıkça bu sıcaklık, 300-400 °C civarına düşmektedir.

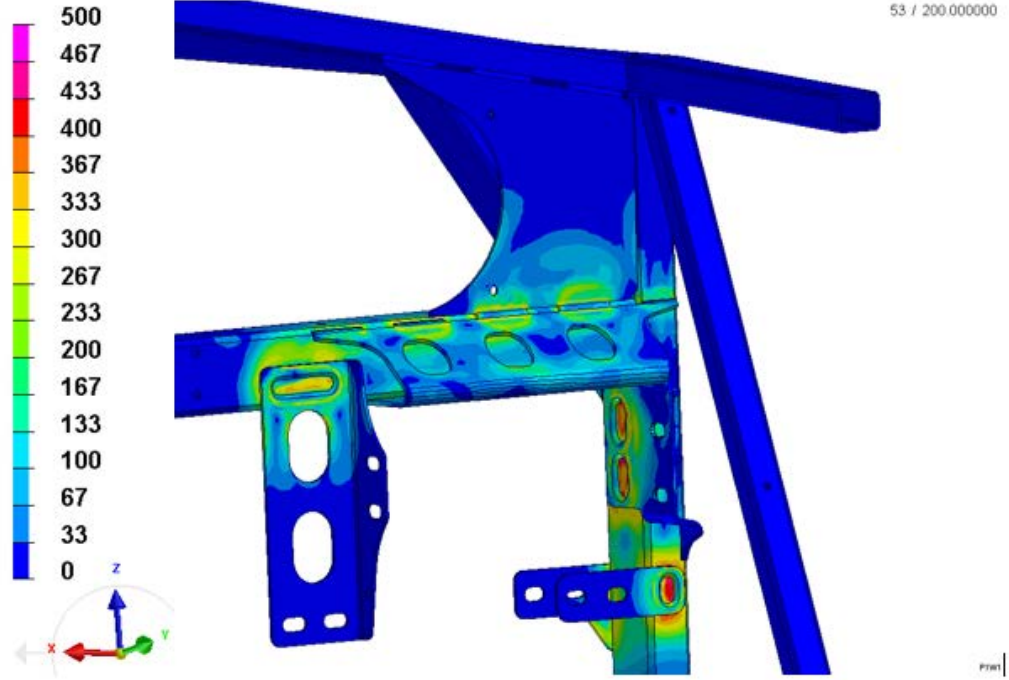


Şekil 81. Kaynak sonrası ısı dağılım haritası-1

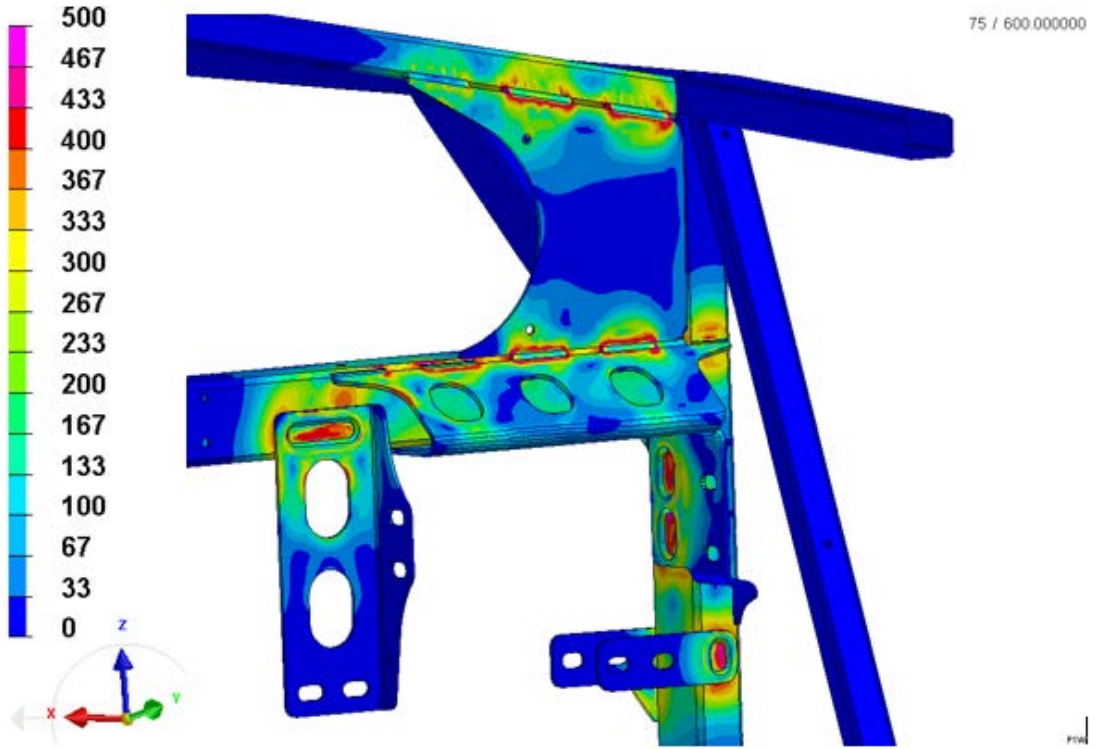


Şekil 82. Kaynak sonrası ısı dağılım haritası-2

Kaynak işlemi yapıldıktan 200 sn. sonrasında, kaynak bölgesinde, 200-300 MPa iç gerilmeler oluşmaktadır. Ancak 600 sn. sonrasında, soğumanın etkisiyle bu değer 300-450 MPa aralıklarına çıkmaktadır. Kaynak işlemi yapıldıktan 600 sn. sonrasında, oluşan bu gerilim Von Mises gerilimidir.

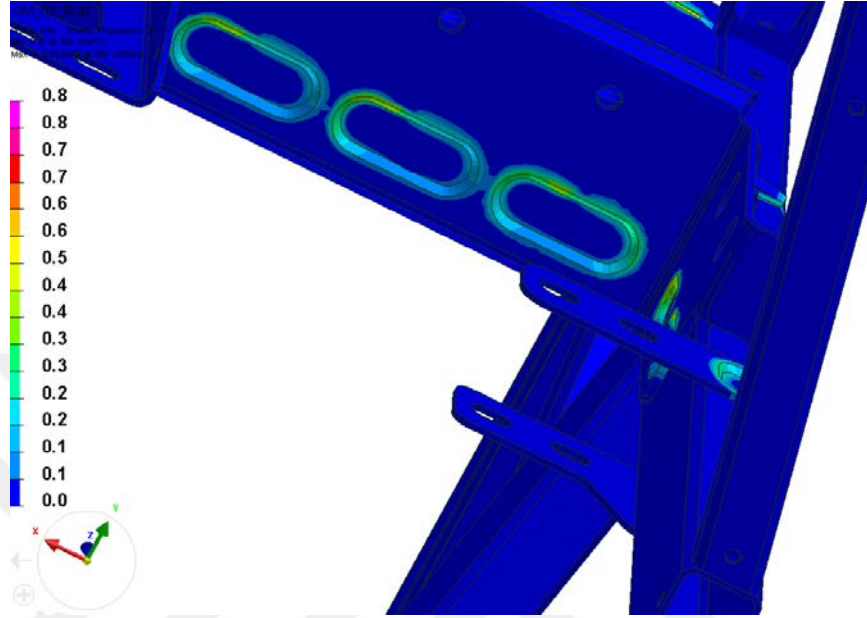


Şekil 83. 200 saniye sonra oluşan MPa cinsinden iç gerilmeler

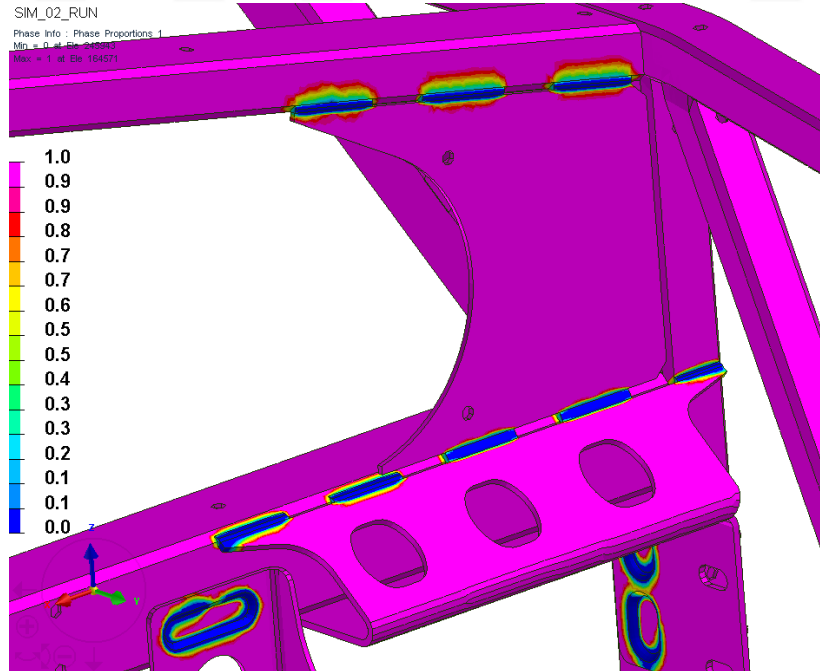


Şekil 84. 600 saniye sonra oluşan MPa cinsinden iç gerilmeler

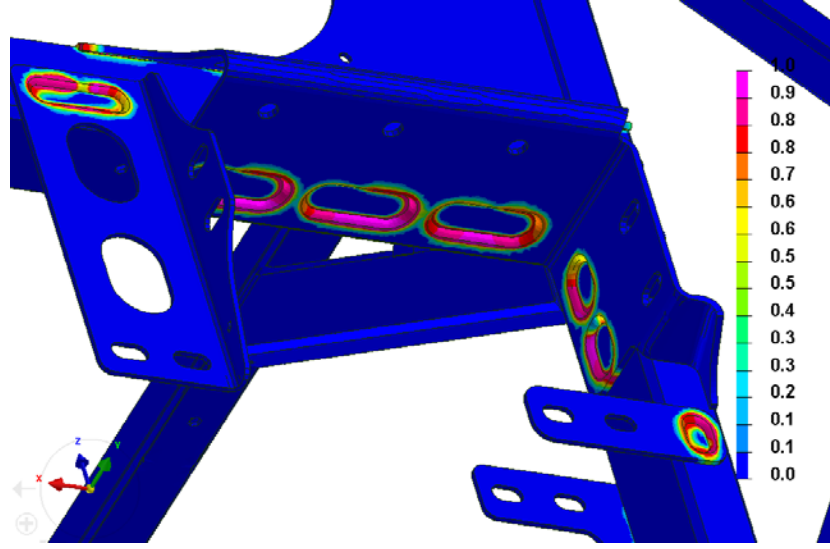
Kaynak esnasında oluşan faz değişiklikleri de incelenmiştir. Buna göre kaynak bölgesinin hemen bitişğinde, ferrit, beynit ve martensit fazlarının östenit oranları incelenmiştir. Bu incelemelere ait sonuçlar Şekil 85, 86 ve 87’de verilmiştir.



Şekil 85. Martensit Östenit oranı

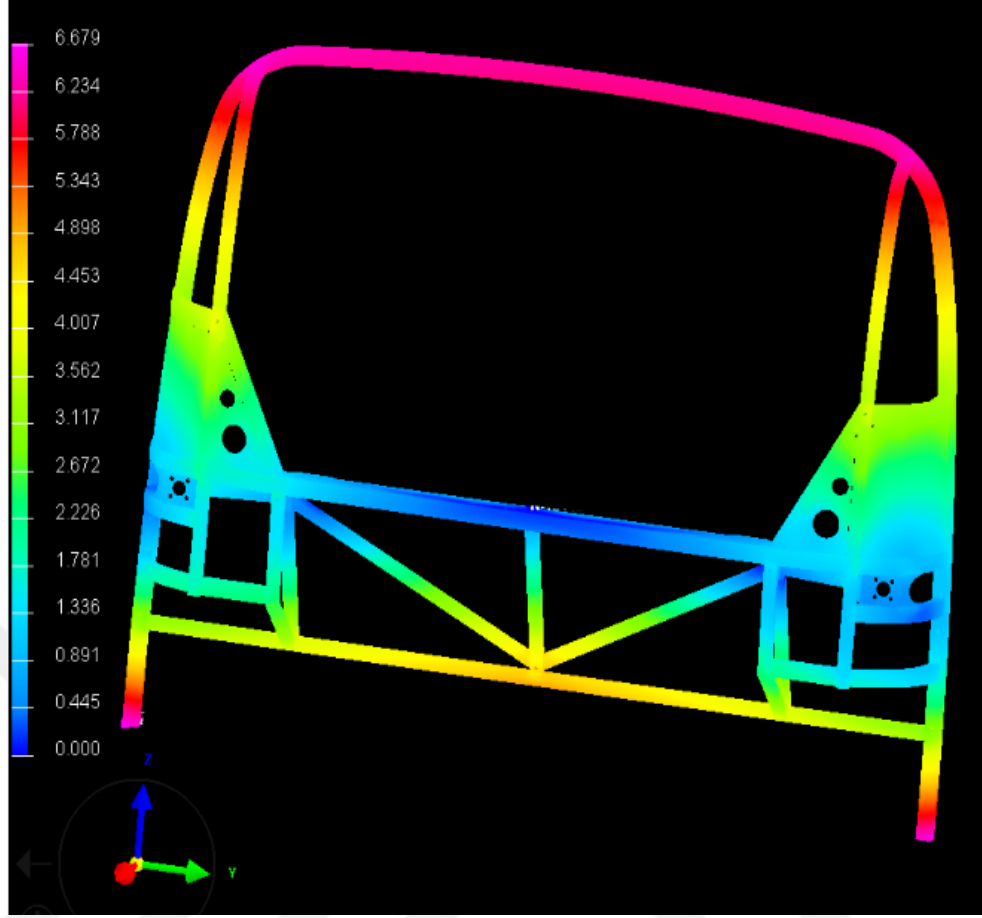


Şekil 86. Ferrit Östenit oranı

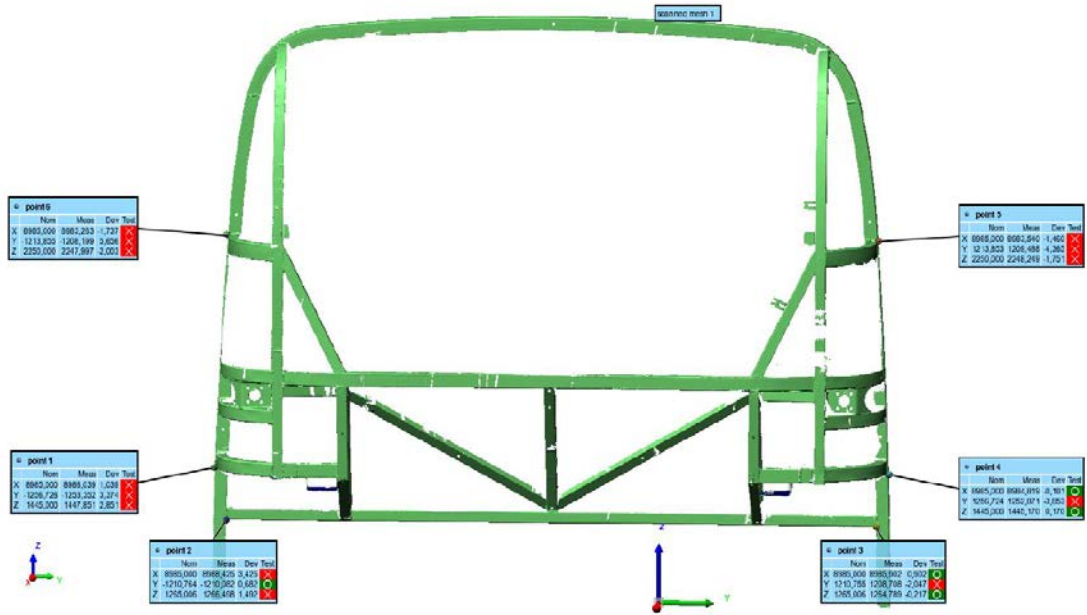


Şekil 87. Beynit Östenit oranı

Simülasyon sonucu ve gerçekte üretilen bir arka duvar komponenti üzerindeki artık gerilme nedeniyle oluşan çarpılma değerleri Şekil 88’de ve Şekil 89’da gösterilmiştir. Burada da görüleceği üzere simülasyona göre girilen parametrelere pratikte sadık kaldığı ve koşullar sağlandığı için uygulama ile simülasyon sonuçları birbirleriyle örtüşmektedir.



Şekil 88. Simülasyon sonucu 6,68 mm ye kadar çarpılma sonucu



Şekil 89. Üretim sonucu elde edilen komponentin 3 boyutlu ölçümde 6,62 mm ye kadar çarpılma sonucu

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Alevle doğrultma işlemi uygulanmış profilin tane boyutları daha küçük olduğu için sertlik değeri işlem görmemiş göre daha fazladır. Bu da malzemeyi daha kırılğan bir yapıya dönüştürmektedir.

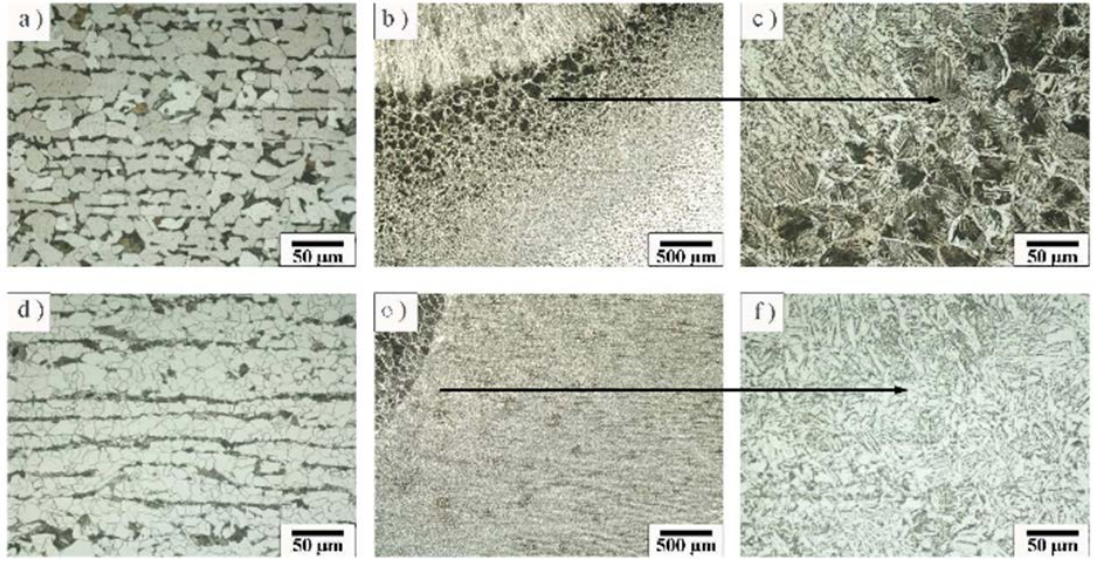
Çekme testi sonuçları incelendiğinde, bu işlemler sonrasında oluşan yeni malzeme artık S315MC ve S460MC çeliklerinin özelliklerini sağlamamakla beraber, daha zayıf bir hale dönüşmüştür. Başka deyişle, yapılan doğrultma işlemlerinin tamamı malzeme mukavemetini olumsuz etkilemektedir. Dinamik ve statik yükler altında çalışan otobüs iskeleti için bu işlem yorulma dayancını da olumsuz etkiler.

Literatür araştırma sonuçları, rezonanssız titreşim ile gerilim gidermenin güçlü bir şekilde titreşim genliğine bağlı olduğunu gösteriyor. Titreşim genliği arttıkça, artık gerilim azalması da artıyor. Yine de titreşim genliği maksimum seviyeye dahi gerilse, bu tür yükleme metotları için artık gerilim tamamen parçadan atılamaz.

Deformasyon değerlerinin minimize edilerek doğrultma işlemlerini de minimize eden imalat süreçlerinin geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir. Karşılaştırmalı ölçüm sonuçları girdi ürün olan profillerde doğrusallıktan sapma olduğunu göstermekte ve deformasyona neden olan sapma giderme yöntemi yerine titreşimle gerilim giderme yönteminin etkisinin daha az deformasyona neden olacak sapsmalara neden olduğunu açıkça göstermektedir.

İlave olarak, yapılan çalışmalarda kaynak operatörü geri bildirim olarak, titreşim etkisi altında kaynak arkının daha kolay oluştuğu gözlemlendiği ve kaynak banyosunun kontrolünün daha kolay olduğu belirtilmiştir.

Yapılan literatür taramalarında, VSR'nin malzemenin iç yapısına bir etkisi olmadığından bahsedilmektedir. Buna göre parçanın üzerinden iç yapı analizleri yapabilmek için çeşitli bölgelerden numuneler alınmıştır. Bu numuneler kaynak bölgesinin yakınlarından alınmıştır. Şekil 90'da S315MC ve S460MC çeliklerinin iç yapıları gösterilmektedir. Buna göre iki tip çelikte de perlit ve ferrit fazları mevcuttur. Tane boyutlarını kıyaslayacak olursak S460MC çeliklerinin tane boyutları daha küçüktür. Kaynak sonrasında HAZ bölgesindeki tane boyutları ciddi oranda artmaktadır.



Şekil 90. İç yapı analizleri

Şekil 90'da yer alan b ve c şekillerinde ısıdan etkilenmiş bölgenin uzağındaki parçaların iç yapıları görülmektedir. Buna göre erime çizgisi belirgindir ve bu bölgede tanelerin iyice büyüdüğü gözükmektedir. Perlit miktarı S315MC çeliklerinde ana malzemeye kıyasla HAZ bölgesinde çok daha fazladır. Kıyaslayacak olursak, perlit miktarı S315MC çelikleri de S460MC çeliklerine göre HAZ bölgesinde daha fazladır. Ayrıca, tane boyutlarını kıyaslayacak olursak S460MC çeliklerinde hem HAZ bölgesinde hem de ana malzemedede daha küçüktür.

VSR'nin basit teorisinde, uygulanan titreşim ile beraber oluşan stresler bölgesel olarak akma sınırından daha fazla olduğu anda plastik deformasyon sonucu kalıntı stres salınıyor. Bu da kalıntı gerilimin azalmasına sebep oluyor. Perlit fazı sünek bir fazdır. Bu fazın mukavemeti ferrit fazından daha yüksektir.

Sonuç olarak, içyapı üzerinde VSR'nin etkisi görülmemiştir. Ancak tane boyutunun VSR etkisi üzerinde ciddi rolü vardır. Bununla ilgili literatürde birçok çalışma vardır. Buna göre tane büyüklüğü arttıkça VSR'nin de etkisi artmaktadır. Otobüs üzerindeki denemeleri incelediğimizde profiller üzerinde daha fazla çarpılmanın olduğu noktalar incelendiğinde bunların S315MC çelikleri olduğu görülmüştür.



KAYNAKLAR

- Benli, S. (2004). KAYNAKLI PARÇALARDA OLUŞAN ARTIK GERİLMELERİN İNCELENMESİ. Erişim adresi: http://ansys.deu.edu.tr/wp-content/uploads/cmdm/481/1450789630_y6.pdf
- Calder C. A. (1962). A Literature Review Covering the Effect of Residual Stresses on Fatigue Strength of Steel. Erişim adresi: <https://scholarsarchive.byu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=8080&context=etd>
- Cheng P., Birnbaum A. J., Yao Y. L., Yang Z., Egland K. (2006). CORRECTION OF BUTT-WELDING INDUCED DISTORTIONS BY LASER FORMING. Erişim adresi: <https://pdfs.semanticscholar.org/5aff/d25850fb4a736a4861ade4a0c16c86343f5d.pdf>
- Colegrove P., Ikeagu C., Thistlethwaite A., Williams S., Nagy T., Suder W., Steuwer A., Pirling T. (2009). Welding process impact on Residual stress and distortion. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/230690207_Welding_process_impact_on_residual_stress_and_distortion/download
- Dawson R., Moffat D. G. (1980). Vibratory Stress Relief: A Fundamental Study of Its Effectiveness. Erişim adresi: <http://materialstechnology.asmedigitalcollection.asme.org/pdfaccess.ashx?url=/data/journals/jemta8/26875/ on 07/25/2017>
- ESB European Steel Business Group. (2019). Erişim adresi: <https://www.esb-group.com/wp-content/uploads/2019/01/ESB-Quality-Guide-Warmgewalzter-Mikrolegierter-Stahl-Vers.-1.02.pdf>
- Feng, Z. (Ed.). (2005). Processes and mechanisms of welding residual stress and distortion. England: Woodhead Publishing. Erişim adresi: https://books.google.com.tr/books?id=1bZm1lgQh60C&pg=PA290&lpg=PA290&dq=flame+straightening+residual+welding&source=bl&ots=DIMisqI-_v&sig=ACfU3U1VMkqfSCir5rbNUqBIO6YIzbFcVQ&hl=tr&sa=X&ved=2ahUKEwjAz_zUo8_hAhVywqYKHRavC5UQ6AEwC3oECAkQAQ#v=onepage&q=flame%20straightening%20residual%20welding&f=false
- Hussin M. H., Lah N. A. C., Said M. K. M. (2017). Repairing Distort Weldment Using Line Flame Straightening with Hammer Tempering Technique. Erişim adresi:

https://www.researchgate.net/publication/321715570_Repairing_Distort_Weldment_Using_Line_Flame_Straightening_with_Hammer_Tempering_Technique/download

Janca L. L. (1987). REMOVAL OF OUT-OF-PLANE DISTORTION IN MILD STEEL PANELS USING FLAME HEATING. Erişim adresi:

https://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:NhRewC4LBQEJ:scholar.google.com/+straightening+with+hammering+and+flame+residual+stress&hl=tr&as_sdt=0,5&as_vis=1

Jayan K. B., Kumar J. P. (2016). Experimental Investigation on Flame Straightening of Corrosion Resistant Structural Steel Sheet Used for Rolling Stock. Erişim adresi:

https://www.academia.edu/25502030/Experimental_Investigation_on_Flame_Straightening_of_Corrosion_Resistant_Structural_Steel_Sheet_Used_for_Rolling_Stock

Munsi A. S.M.Y., Waddell A.J., Walker C. A. (2001). The effect of vibratory stress on the welding microstructure and residual stress distribution. Erişim adresi:

<https://strathprints.strath.ac.uk/6333/5/strathprints006333.pdf>

Pattee H. E., Evans R. M., Monroe R. E. (1969) FLAME STRAIGHTENING AND ITS EFFECT ON BASE METAL PROPERTIES. Erişim adresi:

<http://www.shipstructure.org/pdf/198.pdf>

Pattee H. E., Evans R. M., Monroe R. E. (1970). EFFECT OF FLAME AND MECHANICAL STRAIGHTENING IN MATERIAL PROPERTIES OF WELDMENTS. Erişim adresi: [//www.shipstructure.org/pdf/207.pdf](http://www.shipstructure.org/pdf/207.pdf)

Prakash, Jyoti, Tewari, S. P. (2010). Nucleation, Graingrowth, Solidification and Residual Stress Relaxation Under Stationary and Vibration Welding Condition - A Review. Erişim adresi:

http://www.techsciencepub.com/ijets/docs/Archives_1/vol1issue1/ijets2010010101.pdf

Radaj D. (1992). Heat Effects of Welding Temperature Field, Residual Stress, Distortion. Erişim adresi:

https://books.google.com.tr/books?id=6H_uCAAAQBAJ&pg=PA272&lpg=PA272&dq=flame+straightening+residual+welding&source=bl&ots=QAabRo1IRQ&sig=ACfU3U30tICz5DTM7HxNFC-uEFzNEPer3A&hl=tr&sa=X&ved=2ahUKEwjNjoCp1c_hAhWiw6YKHbwqCy84ChDoATABegQIBxAB#v=onepage&q=flame%20straightening%20residual%20welding&f=false

Rodriguez J. B. (2015). Simulation of Line Heating Using Gas Torch for Industrial Problems. Erişim adresi:

<https://pdfs.semanticscholar.org/2228/573df0b79f0b81535a584ee84b8f8af672b1.pdf>

- Schafer D., Rinaldi V., Beg D., Moze P., Lacalle R., Portilla J., Ferreno D., Alvanez J. A., Willms R., Schütz J. (2012). Optimisation and improvement of the flame straightening process (Optistraight). Erişim adresi:
https://constructalia.arcelormittal.com/files/KINA25120ENN_002--590467b0197631ef468dd38a93f4a4c1.pdf
- Shankar, S. (1982). Vibratory stress relief of mild steel weldments. Erişim adresi:
<https://scholararchive.ohsu.edu/concern/etds/kk91fk53m?locale=en>
- Sun, M.C., Sun, Y.H. ve Wang, R. K. (2003). The vibratory stress relief of a marine shafting of 35# bar steel. s. 299-303. doi:10.1016/S0167-577X(03)00473-7
- Sun, M.C., Sun, Y.H. ve Wang, R. K. (2003). Vibratory stress relieving of welded sheet steels of low alloy high strength steel. s. 1396-1399. doi: 10.1016/j.matlet.2003.10.002
- Şengel, M. A. (2005). GEMİ ÜRETİMİNDE KAYNAK NEDENİYLE OLUŞAN DEFORMASYON VE ARTIK GERİLMELER. Erişim adresi:
<http://hdl.handle.net/11527/11851>
- Yang, Y. P., Jung, G., Yancey, R. (2005). Finite Element Modeling Of Vibration Stress Relief After Welding. Erişim adresi:
http://www.metronicmetal.com/pdf/yang_jung_yancey.pdf
- Xu, J., Chen, L., Ni, C. (2006). Effect of vibratory weld conditioning on the residual stresses and distortion in multipass girth-butt welded pipes. s. 298-303. doi: 10.1016/j.ijpvp.2006.11.004

ÖZGEÇMİŞ

Yusuf Evrim Gökalg, 10/03/1990'da Ankara'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Ankara'da tamamladı. 2008 yılında Kızılcahamam Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2008 yılında başladığı Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü 2013 yılında bitirdi. 2013 yılında MAN Türkiye A.Ş'de makine mühendisi olarak çalışmaya başladı akabinde 2015 yılında Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi İmalat Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. Halen MAN Türkiye A.Ş'de makine mühendisi olarak görev yapmaktadır.