



T.C.  
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

OTOMOBİL GÖVDE İMALATINDA KULLANILAN ROBOTİK  
SİSTEMLERİN VE İMALATA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Gülcan SAMAR

DANIŞMAN

Doç. Dr. Özdoğan KARAÇALI

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı


Makine Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2019

Bu çalışma, 16.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Makine Mühendisliği Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

### Tez Jürisi

  
[Doç. Dr.] Özdoğan KARAÇALI (Danışman)  
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa  
Mühendislik Fakültesi

  
[Prof. Dr.] M. Cüneyt FETVACI  
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa  
Mühendislik Fakültesi

  
[Doç. Dr.] Aykut KENTLİ  
Marmara Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi



[20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa’nın aboneliği olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin ..... numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Bu tez, ..... numaralı ..... projesi ile desteklenmiştir.]

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmam boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Doç.Dr. Özdoğan KARAÇALI'ya en içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını esirgemeyen OPSAN'a teşekkürü borç bilirim.

Temmuz 2019

[Gülcan SAMAR]



# İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ .....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ .....	vii
TABLO LİSTESİ.....	xii
SEMBOL LİSTESİ .....	xiv
ÖZET .....	xv
SUMMARY .....	xvii
1. GİRİŞ .....	1
2. GENEL .....	3
2.1. OTOMOBİL GÖVDE İMALAT İŞLEMLERİ .....	3
2.1.1. Parça Yükleme İşlemi.....	3
2.1.1.1. Gövde Modeline Uygun Parça Yükleme İşlemi .....	7
2.1.1.2. Parça Yükleme İşleminde Operatör veya Robot Kol Kullanımının Etkileri .....	8
2.1.2. Punta Kaynak İşlemi .....	9
2.1.2.1. Punta Kaynak Geometrisi .....	9
2.1.2.2. Malzeme Seçimine Göre Punta Basıncı.....	12
2.1.2.3. Punta Noktalarının Malzeme Yerleşimine Göre Tespiti.....	13
2.1.2.4. Fikstür Kullanımı ve Çoklu Fikstür Yerleşimi .....	14
2.1.3. Sealer İşlemi .....	15
2.1.4. Clinch(Kenar Katlama) İşlemi .....	18
2.1.4.1. Clinch(Kenar Katlama) İşlem Geometrisi .....	18
2.1.4.2. Clinch(Kenar Katlama) Presi Kullanımı.....	19
2.1.4.3. Pres Basıncının Belirlenmesi .....	20
2.1.4.4. Clinch(Kenar Katlama) İşlemi Uygulaması .....	20
2.1.5. Curing(Kürleme) İşlemi .....	22
2.1.6. Punta ve Metal Finiş İşlemi.....	22
2.1.6.1. İşlemin Yan Sanayi Uygulaması Üzerinde Gösterimi .....	23
2.1.7. Buyoff Kontrol İşlemi .....	25

<b>2.2. PPAP PROSES PLANLAMA İŞLEMLERİ</b> .....	<b>26</b>
2.2.1. Proses Akış Diyagramlarının İmalata Etkileri .....	<b>26</b>
2.2.2. Proses Sayfalarının Genel Yapısı .....	<b>28</b>
2.2.3. Proses Sayfalarının İmalata Etkileri ve Kontrolü .....	<b>41</b>
2.2.4. FMEA(Arıza Modu ve Etki Analizi) Kullanımının Proses Katkıları .....	<b>47</b>
<b>2.3. ROBOTİK SİSTEM YAPISI</b> .....	<b>48</b>
2.3.1. Robotik Sistem Koordinat Geometrisi.....	<b>49</b>
<b>3. MALZEME VE YÖNTEM</b> .....	<b>51</b>
<b>3.1. ROBOTİK SİLİNDİR HEMMING İŞLEM YAPISI</b> .....	<b>51</b>
3.1.1. Bükme Geometrisi .....	<b>51</b>
3.1.2. Hemming Süreci ve Ortaya Çıkan Deformasyonlar .....	<b>76</b>
<b>3.2. BULANIK MANTIK İLKELERİ İLE OTOMOBİL KAPI İMALATI</b> .....	<b>78</b>
3.1.1. Bulanık Mantık Sistem Tasarımı .....	<b>78</b>
3.1.2. İmalat Sürecinde Bulanık Mantık Kullanımı.....	<b>78</b>
<b>4. BULGULAR</b> .....	<b>81</b>
<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ</b> .....	<b>97</b>
<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>100</b>
<b>EKLER</b> .....	<b>102</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>129</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1: Kapı Üretim Hattı Yerleşimi	4
Şekil 2.2: Clinch hattı gösterimi	4
Şekil 2.3: Clinch hattı görünüşü	5
Şekil 2.4: Stok sehpası görünüşü	5
Şekil 2.5: Diğer montaj parçaları	6
Şekil 2.6: Kapı üretim hattı şeması	7
Şekil 2.7: Ürün sehpası ve robot kol kullanımı	8
Şekil 2.8: Punta kaynak fikstürü	9
Şekil 2.9: Punta kaynak fikstür çeneleri	9
Şekil 2.10: Fikstür punta bağlantı ekipmanları	10
Şekil 2.11: Punta kaynak elektrodları	10
Şekil 2.12: Pnömatik elektrot düzeltici ekipman	10
Şekil 2.13: Kalemtırış	11
Şekil 2.14: Punta tabancası	11
Şekil 2.15: Dikey ve yatay punta tabancası	12
Şekil 2.16: İç panel ve gövde parçaları	14
Şekil 2.17: Punta kaynak hattı	15
Şekil 2.18: Mastik tabancası	16

<b>Şekil 2.19:</b> Dış panel mastik işlemi	<b>16</b>
<b>Şekil 2.20:</b> Mastik hatası	<b>17</b>
<b>Şekil 2.21:</b> Robotik mastik	<b>17</b>
<b>Şekil 2.22:</b> Siyah mastik	<b>17</b>
<b>Şekil 2.23:</b> Pad mastik işlemi	<b>18</b>
<b>Şekil 2.24:</b> Pres alt kalıbı ve kenetler	<b>18</b>
<b>Şekil 2.25:</b> Kenar katlama presi	<b>19</b>
<b>Şekil 2.26:</b> Kenar katlama sisteminin fabrikadaki yerleşim düzeni	<b>21</b>
<b>Şekil 2.27:</b> Kürleme bölgesi	<b>22</b>
<b>Şekil 2.28:</b> Kürleme bölgesi	<b>23</b>
<b>Şekil 2.29:</b> Punta metal finiş işleminin fabrikadaki yerleşim düzeni	<b>24</b>
<b>Şekil 2.30:</b> Punta metal finiş işlemi operasyon çizimi	<b>24</b>
<b>Şekil 2.31:</b> Mamul sevk kartı	<b>25</b>
<b>Şekil 2.32:</b> PPAP adımları	<b>28</b>
<b>Şekil 2.33:</b> Gövde modelinin görünüşü	<b>41</b>
<b>Şekil 2.34:</b> Clinch hattı operasyon sayfası	<b>43</b>
<b>Şekil 2.35:</b> Robotik sistem	<b>48</b>
<b>Şekil 2.36:</b> Robotik sistem koordinat geometrisi	<b>49</b>
<b>Şekil 3.1:</b> Robot silindir hemming adımları	<b>51</b>
<b>Şekil 3.2:</b> İçte yuvarlanma ve dışta yuvarlanma	<b>52</b>
<b>Şekil 3.3:</b> Geri esneme, geri tepme ve eğrilik	<b>52</b>

<b>Şekil 3.4:</b> Düz yüzey- düzgün kenar katlama	<b>57</b>
<b>Şekil 3.5:</b> Hemming yüzey yapısı	<b>59</b>
<b>Şekil 3.6:</b> Hemming yüzeyinde küçülme ve büyüme	<b>60</b>
<b>Şekil 3.7:</b> Hemming yüzey yapısı geri tepme ve eğrilik	<b>60</b>
<b>Şekil 3.8:</b> Hemming yüzeyinde geri esneme	<b>61</b>
<b>Şekil 3.9:</b> Hemming yüzeyinde lüder bant oluşumu	<b>63</b>
<b>Şekil 3.10:</b> Hemming işlemi koordinatları	<b>64</b>
<b>Şekil 3.11:</b> Malzeme için Hollomon-Ludwick kuvvet kanunu	<b>66</b>
<b>Şekil 3.12:</b> Gerilme için Hollomon-Ludwick kuvvet kanunu	<b>66</b>
<b>Şekil 3.13:</b> Geri esneme açısı ve oranı	<b>67</b>
<b>Şekil 3.14:</b> Ağır yüklerde bükme işleminde gerilim değerleri	<b>68</b>
<b>Şekil 3.15:</b> Robotik silindir hemming görünüşü	<b>69</b>
<b>Şekil 3.16:</b> KUKA hemming robot ayrıntıları	<b>70</b>
<b>Şekil 3.17:</b> Robot çifti kullanımı	<b>70</b>
<b>Şekil 3.18:</b> Aynı yörüngede robot çifti kullanımı	<b>71</b>
<b>Şekil 3.19:</b> Robot montaj hattı	<b>71</b>
<b>Şekil 3.20:</b> Ön hemming ve final hemming	<b>72</b>
<b>Şekil 3.21:</b> Robotik silindir hemming akış şeması	<b>72</b>
<b>Şekil 3.22:</b> Robotik silindir hemming işlem görünümü	<b>73</b>
<b>Şekil 3.23:</b> Farklı açılar için robotik silindir hemming adımları	<b>74</b>
<b>Şekil 3.24:</b> Kalıp hemming presi(clinch)	<b>74</b>

<b>Şekil 3.25:</b> Kalıp hemming presi yörüngesi	<b>74</b>
<b>Şekil 3.26:</b> Masaüstü hemming presi	<b>75</b>
<b>Şekil 3.27:</b> Masaüstü hemming presi yörüngesi	<b>75</b>
<b>Şekil 3.28:</b> Robotik silindir hemming ve yörüngesi	<b>75</b>
<b>Şekil 3.29:</b> Temel prosesleri karşılaştırma	<b>76</b>
<b>Şekil 3.30:</b> Hemming(kenar katlama) işlem yapısı	<b>76</b>
<b>Şekil 3.31:</b> Dış panel detayı ve kenar deformasyonu	<b>77</b>
<b>Şekil 3.32:</b> Köşe deformasyonu	<b>77</b>
<b>Şekil 3.33:</b> Robotik silindir hemming hattı	<b>78</b>
<b>Şekil 3.34:</b> Otomobil kapı iç ve dış panel	<b>83</b>
<b>Şekil 3.35:</b> Robotik silindir hemming işlemi için kalıp fikstürü	<b>84</b>
<b>Şekil 3.36:</b> Dış panel Solidworks çizimi	<b>85</b>
<b>Şekil 3.37:</b> İç panel Solidworks çizimi	<b>86</b>
<b>Şekil 3.38:</b> Hemming silindiri yörüngesi	<b>87</b>
<b>Şekil 3.39:</b> Robotik silindir hemming ön gerilim değerleri	<b>88</b>
<b>Şekil 3.40:</b> İyileştirilmiş hemming silindiri yörüngesi	<b>88</b>
<b>Şekil 3.41:</b> Robotik silindir hemming iyileştirilmiş ön gerilim değerleri	<b>89</b>
<b>Şekil 3.42:</b> Robotik silindir hemming parçaları eleman yapısı	<b>90</b>
<b>Şekil 3.43:</b> Flanş oluşturma ölçüleri	<b>90</b>
<b>Şekil 3.44:</b> Hemming silindirinin uyguladığı kuvvet ile oluşan deformasyon	<b>91</b>
<b>Şekil 3.45:</b> Gövde panelinde oluşan ön gerilim	<b>91</b>

<b>Şekil 3.46:</b> Hemming silindirinin uyguladığı kuvvet ile oluşan iyileştirilmiş deformasyon	<b>92</b>
<b>Şekil 3.47:</b> Gövde panelinde oluşan iyileştirilmiş ön gerilim	<b>92</b>
<b>Şekil 3.48:</b> PamStamp-2G yazılımı paneller ve kalıp görünüşü	<b>93</b>
<b>Şekil 3.49:</b> Yörünge ve hemming adımı sonucu yüzey deformasyonu	<b>94</b>
<b>Şekil 3.50:</b> Yörünge ve hemming adımı sonucu ön gerilim	<b>95</b>
<b>Şekil 3.51:</b> 6022-T4E32 malzemenin yüzey sertlik değerleri	<b>96</b>



## TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
<b>Tablo 2.1:</b> Punta kaynak parametreleri	13
<b>Tablo 2.2:</b> FMEA tasarım örneği	29
<b>Tablo 2.3:</b> Süreç akış diyagramı örneği	30
<b>Tablo 2.4:</b> Proses sayfası örneği	31
<b>Tablo 2.5:</b> FMEA süreç örneği	32
<b>Tablo 2.6:</b> Kontrol planı örneği	32
<b>Tablo 2.7:</b> Ölçüm değerleri belgesi	34
<b>Tablo 2.8:</b> Detaylı ölçüm değerleri belgesi	35
<b>Tablo 2.9:</b> Boyutsal test sonuçları belgesi	36
<b>Tablo 2.10:</b> Malzeme test sonuçları belgesi	36
<b>Tablo 2.11:</b> Performans test sonuçları belgesi	36
<b>Tablo 2.12:</b> Görünüm onay raporu	37
<b>Tablo 2.13:</b> Yığın malzeme geçici onay formu örneği	38
<b>Tablo 2.14:</b> Yığın malzeme gereksinim kontrolü belgesi	39
<b>Tablo 2.15:</b> Parça gönderme emri örneği	40
<b>Tablo 2.16:</b> Sol kayar kapı proses akış diyagramı	44
<b>Tablo 2.17:</b> Sol kayar kapı proses akış diyagramı	45
<b>Tablo 2.18:</b> Sol kayar kapı FMEA	46

<b>Tablo 3.1:</b> FE model değerleri için parametreler	<b>55</b>
<b>Tablo 3.2:</b> Deformasyon matrisi	<b>55</b>
<b>Tablo 3.3:</b> Hemming işlemi için malzeme parametreleri	<b>57</b>
<b>Tablo 3.4:</b> Hemming işlemi için operasyon parametreleri	<b>58</b>



## SEMBOL LİSTESİ

<b>P</b>	: Basınç
<b>C</b>	: Flanş kalıbı ve zımba arasındaki boşluk
<b>L</b>	: Flanş uzunluğu
<b>P</b>	: Ön katlayıcı yolu
<b>R<sub>d</sub></b>	: Kenar bükme kalıp yarıçapı
<b>ε<sub>0</sub></b>	: Sac ön-gerilim
<b>θ</b>	: Ön katlayıcı açısı
<b>R<sub>s</sub></b>	: Yüzey yarıçapı
<b>R<sub>e</sub></b>	: Kenar yarıçapı
<b>E</b>	: Young modülü
<b>v</b>	: Poisson oranı
<b>M</b>	: Sac bükmede uygulanan moment
<b>t</b>	: Sac kalınlığı
<b>S</b>	: Nihai çekme gerilmesi
<b>k</b>	: k katsayısı
<b>A</b>	: İşlem yüzeyleri arasındaki boşluk
<b>ρ<sub>min</sub></b>	: Minimum bükülme yarıçapı
<b>ε</b>	: Eğilme gerilimi

## ÖZET

### OTOMOBİL GÖVDE İMALATINDA KULLANILAN ROBOTİK SİSTEMLERİN VE İMALATA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

#### YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gülcan SAMAR

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Özdoğan KARAÇALI

Bu çalışmada, imalatı gerçekleştirmek için kullandığımız işlemlerin yapısı anlatıldı ve işlemlerde yapılan iyileştirmeler sonucunda nasıl daha kaliteli ürün elde edebileceğimiz üzerine çalışmalar yapıldı. Gövde imalatı için kullanılan tezgah ve araçların verimli şekilde nasıl kullanılacağına değinildi. İmalat hatlarının yerleşimi ve bu yerleşim sonucunda istenilen kapasitenin sağlanması hakkında çalışmalar yapıldı.

Bu süreci gerçekleştirmek için, otomotiv sanayinin ihtiyaç duyduğu ve yan sanayi firmalarında da uygulanmakta olan PPAP (üretim parçası onay prosesi) dosyaları anlatıldı. Uygulama alanında gerçekleştirilen çalışma sonucu bu dosya içerisindeki veriler üzerinde nasıl iyileştirmeler yapılacağı hakkında çalışmalar yapıldı.

İmalat işlemlerinde kullanılan robotik sistemlerin yapısı ve kullanım yeri anlatıldı. Ürünü taşıma ve imalatı gerçekleştirme işlemleri için kullandığımız robotik sistem yapısının üretim hattına uyumu üzerine çalışmalar yapıldı.

Son olarak, clinch(kenar katlama) işleminin yeni hali olan robotik silindir hemming yönteminin yapısı, etkileri, iyi ve kötü yönleri anlatıldı. Üretim parça kalitesini ve üretim kapasitesini arttırmak için, Ford yan sanayi firmalarında üretimi halen devam etmekte olan

kayar kapı adı verilen iş parçası üzerinde belirlenen malzeme, işlem yapısı kullanılarak, iç ve dış panellere uygulanan pres basıncı altında yüzeylerde oluşan deformasyon(şekil değişimi) ANSYS ve Pam-Stamp 2G programı ile hesaplamalar ve analizler yapılarak gösterildi.

Yapılan bu çalışmada amaç, tek bir robota bağlı çoklu robot kolu ile kenar katlama(hemming), mastik ve lazer kütleme işleminin adımlarının birbirini takip eden ve tamamlayıcı şekilde ilerlediği gösterildi. Bu tamamlayıcı adımları gerçekleştirebilmek için işlem kalitesini de etkileyen bazı parametrelerin belirlenmesi gerekir. Çoklu robot kolunun yerleşiminin iş parçası üzerindeki etkileri sayısal olarak analiz edilerek, en uygun işlem parametreleri belirlendi.

Bu çalışmanın bilime katkısı, robotun ilerleme hızı, devir hızı ve takımlar arasındaki değişim süresinin revize edilmesi ile iş parçasının kırışıklık ve geri esneme oranında azalma meydana geldiği görüldü.

Çoklu robot kol kullanımının işlem süresinin azalmasını sağladığı belirlendi. Bu sonuca bağlı olarak, otomotiv endüstrisinde bu işlemin ve belirlenen alt parametrelerinin kullanımı ile daha kaliteli ürün elde edildiği gösterildi.

Temmuz 2019, |129| sayfa.

**Anahtar kelimeler:** |Otomobil gövde imalatı, PPAP(üretim parçası onay prosesi), kenar katlama işleminde robotik sistem yapısı, hemming(kenar katlama) yöntemi. |

## **SUMMARY**

### **INVESTIGATION OF THE EFFECT OF MANUFACTURING AND ROBOTIC SYSTEMS USED IN AUTOMOBILE BODY PRODUCTION**

**M.Sc. THESIS**

**Gülcan SAMAR**

**Istanbul University-Cerrahpasa  
Institute of Graduate Studies  
Department of Mechanical Engineering**

**Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Özdoğan KARAÇALI**

In this study, the structure of the processes that we use to realize the manufacturing is explained and studies on how we can obtain better quality products as a result of the improvements made in the processes have been made. We talked about how to use the machine tools and tools used for body production efficiently. Work was carried out on the placement of the production lines and the required capacity as a result of this placement.

In order to realize this process, PPAP (production part approval process) files, which are needed by the automotive industry and which are also applied in sub-industry companies, were explained. As a result of the study performed in the application area, studies were made on how to make improvements on the data in this file.

The structure and usage of robotic systems used in manufacturing processes are explained. Work was carried out on the adaptation of the robotic system structure that we use for carrying and manufacturing the product to the production line.

Finally, the structure, effects, good and bad aspects of the robotic roller hemming method, which is the new form of clinch (edge folding), are explained. In order to increase production part quality and production capacity, deformation (deformation) formed on surfaces under press pressure applied to internal and external panels by using material, process structure determined on work piece called sliding door which is still continuing production in Ford supplier industry ANSYS and Pam-Stamp 2G program showed calculations and analyzes.

The aim of this study was to show the successive and complementary progression of the steps of hemming, mastic and laser curing with multiple robot arms connected to a single robot. In order to carry out these complementary steps, some parameters affecting the process quality must be determined. Numerical analysis of the effects of the multi-robot arm placement on the workpiece determined the most appropriate process parameters.

The contribution of this study to science, the speed of rotation of the robot, revolving speed and the time of change between the tools were observed to reduce the crease and flexing rate of the workpiece.

It was determined that the use of multiple robotic arms reduced the processing time. Based on this result, it has been shown that better quality products are obtained by using this process and its sub-parameters in the automotive industry.

July 2019, [129] pages.

**Keywords:** [Automobile body production, PPAP(production part approval process), the structure of the robotic system of edge folding process, hemming (edge folding)method. ]

## 1. GİRİŞ

Yurtdışında gördüğümüz imalat sistemine sahip olduğumuz şu günlerde, bizimde kendimizi geliştirip teknolojiden ve getirdiği yeniliklerden yararlanmamız gerekir. Tabii ki, üretimini gerçekleştireceğimiz ürün için birtakım güncel çalışmalara ihtiyaç duyarız. Sistemimize adapte edeceğimiz her yeni teknik, ekipman, makina firmamız için kolaylık getirebileceği gibi, zaman ve maliyet açısından bazı sorunlar yaratabilir. Üretilecek ürünün, belirli kapasite şartları dahilinde ne kadar üretildiği belirlenmeli ve üretim sonunda ortaya çıkacak olan maliyet ve belirli sorunlar(tezgah bakımı, arızası, stok bekleme vb.) göz önünde bulundurularak önceden hesaplanmalıdır.

Günümüzde birçok fabrika bünyesinde gerçekleştirmekte olduğu bazı üretim parçalarını yan sanayiye aktarmaktadır. Yaptığı bu uygulama sayesinde hem imalat yükünü hafifletiyor, hem de kontrol, montaj, boyama, sevkiyat vb. işlemlere daha fazla zaman ayırıyor. Sürekli irtibat halinde olunan bu yapıda, gözden kaçabilecek tüm hatalara anında müdahale edilerek sistemin sorunsuz çalışması sağlanıyor. Bu sebeple, fabrikadan gönderilen iş emirleri ve ara imalat talepleri dahilinde gerçekleştirilen yan sanayi üretimi belirli zamanlarda fabrika denetimine tabi tutulur.

Birçok imalat sanayinde olduğu gibi, otomotiv sanayisi için de bu durum söz konusudur. 7/24 çalışan bir sistem ve üretim hattı olan otomotiv endüstrisi, gövde imalatı ve birleştirme sırasında ortaya çıkabilecek her türlü sorundan bir bütün olarak etkilenmektedir. Bu yüzden, yan sanayiye ihtiyaç duyulmaktadır. Her kompleks üründe olduğu gibi önce ürün parçalara ayrılır ve sadece o parça dahilinde incelenir, geliştirilir, sunulur, daha sonra bütün parçalar toplanarak uyum ve kararlılık aranır. Biz burada sadece ilk bölümle ilgileniriz, çünkü yaptığımız işin küçük bir parçasını oluştursa da bitmiş ve de müşterinin kullanımına sunulmuş ürün, müşteri için ileride sorun yaratacak olur ise bu ilk olarak montajı yapan fabrikayı, daha sonrada belirli sorunu yaratan imalat parçasını oluşturan bizi etkiler. Bize yansması ise, fabrikadan gelen emirler dahilinde imalatta revizyona(değişikliğe) gitmemiz yönündedir.

İlk olarak, imalatı gerçekleştirmek için kullandığımız işlemlerin yapısı anlatıldı ve işlemlerde yaptığımız iyileştirmeler sonucu nasıl daha kaliteli ürün elde edebileceğimiz üzerine çalışmalar yapıldı. Gövde imalatı için kullanılan tezgah ve araçların verimli şekilde nasıl kullanılacağına değinildi. İmalat hatlarının yerleşimi ve bu yerleşim sonucunda istenilen kapasitenin sağlanması hakkında çalışmalar yapıldı.

Bu süreci gerçekleştirmek için, otomotiv sanayinin ihtiyaç duyduğu ve yan sanayi firmalarında da uygulanmakta olan PPAP (üretim parçası onay prosesi) dosyaları anlatıldı. Uygulama alanında gerçekleştirilen çalışma sonucu bu dosya içerisindeki veriler üzerinde nasıl iyileştirmeler yapılacağı hakkında çalışmalar yapıldı.

İmalat işlemlerinde kullanılan robotik sistemlerin yapısı ve kullanım yeri anlatıldı. Ürünü taşıma ve imalatı gerçekleştirme işlemleri için kullandığımız robotik sistem yapısının üretim hattına uyumu üzerine çalışmalar yapıldı.

Son olarak, clinch(kenar katlama) işleminin yeni hali olan hemming işleminin yapısı, etkileri, iyi ve kötü yönleri anlatıldı. Seçilen bir iş parçası üzerinden gerekli hesaplamalar ve analizler yapılarak gösterildi.

Bu işlemler IDEF0, UML ve kalite evi kullanılarak gerçekleştirildi. |

## 2. GENEL

### 2.1. OTOMOBİL GÖVDE İMALAT İŞLEMLERİ

#### 2.1.1. Parça Yükleme İşlemi

Bir otomobil gövdesinin tek bir parçasını üretmek için firma veya fabrika tarafından oluşturulan alana hat denmektedir. Bu hatlar birden fazla işlem için tasarlanmıştır. Burada bir otomobil gövde parçasının üretim sırası kolaylıkla yapılabilmekte ve kontrol edilebilmektedir.

Hattı oluşturmadan önce, imalatı yapılacak olan iş parçası tasarım ve proses planlama sürecinden geçmektedir. Tasarım işlemi yapılan iş parçası için düşünülen şekillendirme ve montaj işlemleri eş zamanlı olarak belirlendikten sonra, prosesi oluşturan ana işlemlerin hatta nasıl yerleştirileceği planlanır. Ek işlemler hesaba katılarak esnek bir üretim hattı kurulmaktadır.

İlk önce iç panel adı verilen ana montaj parçası ile iş başlar. Daha sonra üzerine monte edilen diğer parçalar eklenerek işlem devam eder. En son her otomobilin görselliğini tamamlayan dış panel üzerine kapatılarak gövde oluşturulur.

Gövde hattını oluşturan işlemler;

Punta kaynak

Sealer

Clinch

Curing

Punta ve Buyoff



Parça clinch hattına konur ve kenarları katlanarak birleştirilir. Clinch hattından robot ile alınan parça curing bölgesine konarak, mastiğin kuruması sağlanır. İşlem bitiminde bant yoluyla punta bölgesine gider. Buradan sonra operatör parçayı taşıyarak sırasıyla sealer temizleme ve buyoff sehpasına taşır. Buyoff kontrol onayı sonucunda parça ya bitmiş ürün sehpasına ya da hatalı ürün sehpasına konur.



**Şekil 2.3:** Clinch hattı görünüşü

Şekil 2.3’de görüldüğü üzere hattın ön görünüşünde clinch işlemi yapılması için kullanılan turuncu renkteki robot kol ve robot kolun her iki tarafında görülen clinch presleri hattın tam ortasında yer almaktadır. Hattın çevresi iş güvenliği kuralları çerçevesinde kapatılmış ve elektrik panelleri iş hattının uzağına yerleştirilmiştir.

Süreç başlangıcında iç ve dış paneller Şekil 2.4’deki ham parça stok sehpalарına taşıma araçları yardımıyla konur. Bu sehpalardan alınan iç ve dış paneller hatta sarı çizgilerle belirlenen güzergahta herhangi bir hasar olmadan taşındığı ve yerleştirildiği için işlem zamanında azalma sağlar. Üretim kapasitesindeki artışta da katkısı vardır.



**Şekil 2.4:** Stok sehpa görünüşü

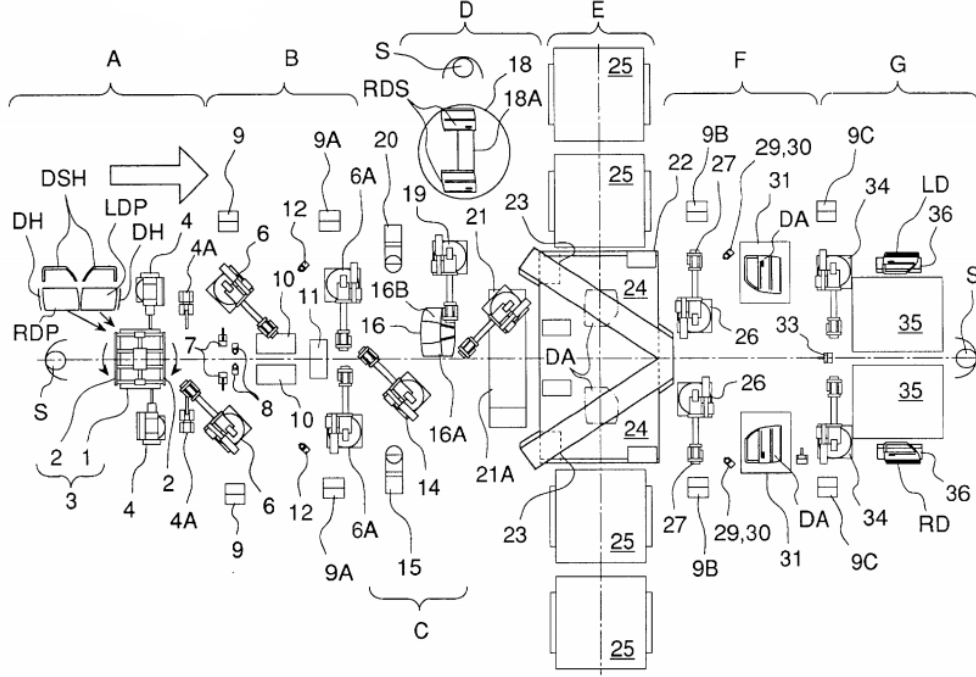
İç ve dış paneller yerleştirildikten sonra, ikinci stok işlemi iç panele punta kaynağı ile montajı yapılacak diğer parçaların taşınmasıdır. Ahşap paletlere yüklenen parçalar hattın ön kısmına yerleştirilir.



Şekil 2.5: Diğer montaj parçaları

Operatör punta kaynak işlemine başlamadan önce iç ve dış panele uygun montaj numarasına sahip diğer parçaları seçmek ve karışmaması için en uygun yerleşimi sağlamak zorundadır. Şekil 2.5'te montaj parçalarının stok yerleşimi gösterilmektedir. Operatör eğer bu konuda hata yaparsa, hem üretim kapasitesini azaltmış hem de üretim zamanında kayıplara yol açmış olur.

Çalışma kapasitesi, tekrar üretilebilirlik ve boyutsal hassasiyetle yüksek kalitede otomobil parçalarının üretilebildiği, kontrol edilip kalıplanabilen montaj üretim hattıdır. Bir otomobil gövdesinin montaj hattına taşınması ve montajı için, bir üretim hattında çeşitli işlemler düzenlenerek oluşturulur. Alternatif sağ ve sol kapı panelleri LDP ve RDP, alternatif olarak giriş için bir iş giriş cihazı A, artımlı bir kaynak işlemi B, bir montaj işlemi C, bir kapı panel girişi ve sızdırmazlık işlemi D, bir hemming işlemi E, hemming teslimat işlemi F ve bir ön kapı teslimat kısmından oluşur.



Şekil 2.6: Kapı üretim hattı şeması

Şekil 2.6, bir kapı montaj hattının ana hatlarını gösteren bir şemadır. Bu montaj hattı tarafından üretilen sol ve sağ kapı LD ve RD bir body in white(BIW) gösterilir.

Yukarıdaki montaj hattında kaynak işlemi A, artışı nokta kaynak işlemi B, montaj süreci C, kapı panel girdi doğrusal düzenlemeleri ve mastikleme işlemi D, hemming süreci E, hemming teslimat süreci F yoluyla yapılır. Bu üretim hattı, sol kapı ve sağ kapının bir kenar sabitleme işlemi G ile aynı zamanda üretilmektedir[1].

#### 2.1.1.1. Gövde Modeline Uygun Parça Yükleme İşlemi

Otomobil gövde montajında, herbirine farklı montaj numarası verilen ana gövde parçaları fabrika içerisinde farklı montaj hatlarına yönlendirilir. Bu ana gövde parçaları şu şekildedir; sağ ön kapı, sol ön kapı, sağ kayar kapı, sol kayar kapı, sağ arka kargo kapı, sol arka kargo kapı, motor kaputu ve bagaj kapısı.

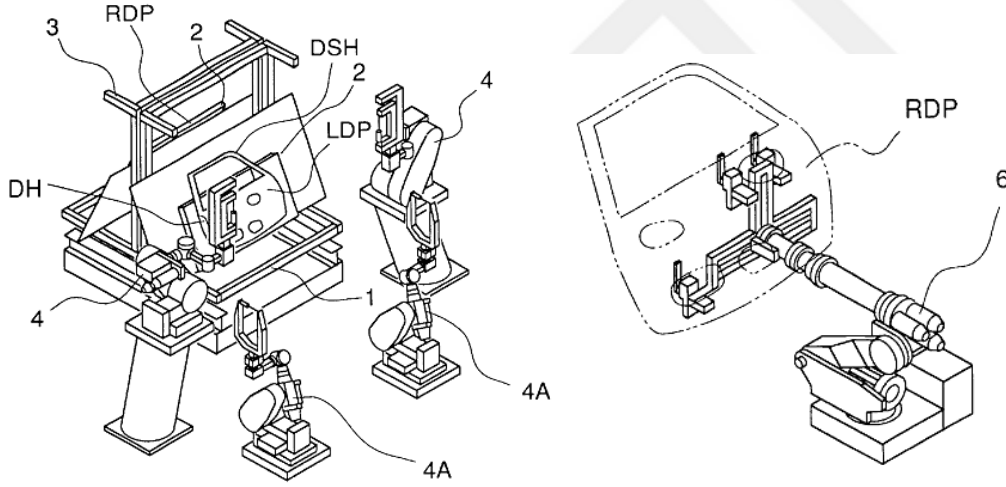
Bu montaj hatları kullanılan fiktürün boyutu nedeniyle ayrı ayrı montaj model adı ile sınırlandırılmıştır. Bunlar ise; van-uzun model, van-kısa model, kombi-uzun model ve kombi-kısa modeldir.

Ayrıca Şekil 2.5'te gösterilen montaj parçaları, gövde parçalarına ve montaj model adına göre bir sonraki işlem için fikstür üzerindeki gövde paneline yerleştirilir.

### 2.1.1.2. Parça Yükleme İşleminde Operatör veya Robot Kol Kullanımının Etkileri

Parça yükleme işleminde, günümüzde halen operatör kullanımı daha yaygındır. Tek farkı güvenlik açısından işçinin kullanılmadığı yüksek tonajlı pres makina hattında robot kola ihtiyaç duyulmasıdır.

İşlem sırası göz önüne alındığında, punta kaynak hattında operatör gövde panelini ve montaj parçalarını elle yükler. Punta kaynak işlemi bitiminde operatör yine parçayı diğer bir hatta taşır. Robot kol ise, bu parçayı alarak önce mastik işleme daha sonra da pres hattına taşır. Pres işlemi biten, yani birleştirilen alt ve üst panel robot kol yardımıyla kürlenme masasına bırakılır.



Şekil 2.7: Ürün sehpası ve robot kol kullanımı

Bu işlemler, kürlenme, kontrol ve bitiş hattında yine operatörün yardımı ile son bulur. Operatör son olarak, bitmiş gövdeyi diğerlerinin bulunduğu stok sehpasına taşır.

## 2.1.2. Punta Kaynak İşlemi

### 2.1.2.1. Punta Kaynak Geometrisi

Birinci punta kaynak fikstürüne stok sehпасından operatör tarafından alınan iç panel yerleştirilir (Şekil 2.8). İç panel üzerine diğer parçalar da montaj yerlerine uygun olarak yerleştirilir.



**Şekil 2.8:** Punta kaynak fikstürü

Montaj parçaları üzerindeki boşluklara punta kaynak işleminde kayma olmaması için merkezleme bağlantı parçaları sabitlenir. Daha sonra fikstür çeneleri(kenetler) kapatılarak punta kaynak işlemine başlanır (Şekil 2.9).



**Şekil 2.9:** Punta kaynak fikstür çeneleri

Fikstür çeneleri kapandıktan sonra işlem için belirlenen yerlere yerleştirilen ekipmanlar yoluyla punta kaynak yapılır. Farklı modeller için fikstüre yerleştirilen ekipmanlar Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



**Şekil 2.10:** Fikstür punta bağlantı ekipmanları

Otomobil gövdesinin punta kaynağını yapmak için kullanılan punta tabancasının işlemi gerçekleştirecek uç kısımlarına Şekil 2.11’de gösterilen elektrodlar yerleştirilir.



**Şekil 2.11:** Punta kaynak elektrodları

Kullanılan bu elektrodlar malzeme özelliklerine göre belirlenmektedir. Punta tabancasına uygulanan basınç yoluyla uç kısmındaki elektrodlar kapanır ve iki parçanın kaynatılması işlemi gerçekleştirilir.

İşlem sırasında bu elektrodların temizlenmesi ve formunu yeniden kazanması için hatta bulunması gereken ekipmanlar bulunmaktadır. Bu ekipman Şekil 2.12’de görülen içerisine kalem tıraş yerleştirilmiş pnömomatik ekipmandır.



**Şekil 2.12:** Pnömomatik elektrot düzeltici ekipman

Bu elektrod düzeltici ekipman içine yerleştirilen kalem tıraş yoluyla punta tabancası elektrodları düzeltilir. Punta tabancası çeneleri arasına bu ekipman yerleştirilir. Punta tabancasının çeneleri kapatılarak, uçlar ve kalem tıraşın birbirine değmesi sağlanır. Şekil 2.13’de kalem tıraşın genel yapısı gösterilmektedir.



**Şekil 2.13:** Kalem tıraş

Bu ekipmanları kullanarak işlemi gerçekleştirmek için tüm hazırlıkları yaptıktan sonra, gövde iç panelinin farklı yerlerine uygun seçilmiş punta tabancaları ile işlem gerçekleşir. Punta tabancası üzerinde farklı renklerde belirlenmiş butonlardaki basınçlar ile nokta kaynağı yapılır. Bu işlemi hattın o bölümünde çalışan operatörler gerçekleştirir.

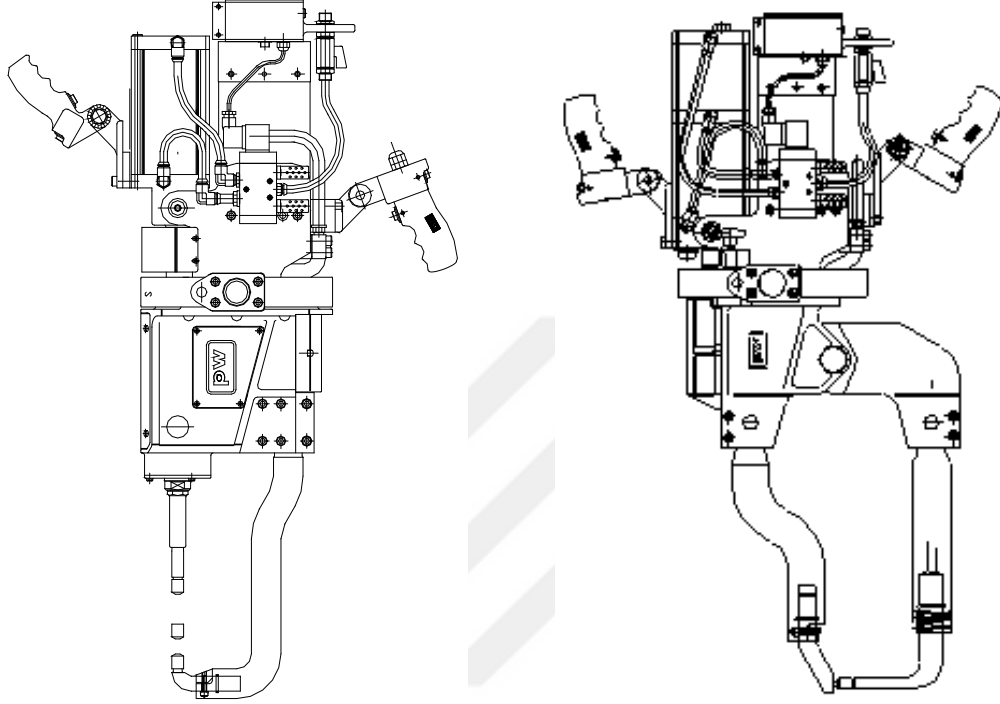
İç panelin üzerine gelen iş parçalarına uygun olarak hesaplanan nokta yerleşimi proses sayfalarında mutlaka gösterilir. Şekil 2.14’de gösterilen punta tabancası operasyon sayfalarında gösterilen noktalara punta kaynağı yapar.



**Şekil 2.14:** Punta tabancası

Daha önceki sayfada belirtildiği gibi, farklı kaynak birleştirme yönüne göre değişik punta tabancaları kullanılır. Şekil 2.15’de gösterilen ilk şekilde dikey doğrultuda punta kaynağı için kullanılan punta tabancası gösterilmektedir. Bu punta tabancası iç panelin yakın mesafedeki yatay koordinatındaki kenarlarında, iş parçaları ile iç paneli birleştirmek için kullanılır.

İkinci şekilde yatay doğrultuda punta kaynağı için kullanılan punta tabancası gösterilmektedir. Bu punta tabancası iç panelde ulaşılması zor olan orta kısımdaki yatay koordinat için daha avantajlıdır. Bunun haricinde iç panelin dikey koordinatında, iş parçaları ile iç paneli birleştirmek için kullanılır.



Şekil 2.15: Dikey ve yatay punta tabancası

#### 2.1.2.2. Malzeme Seçimine Göre Punta Basıncı

Gövde montaj parçalarını oluşturan iç panel, braket(ayak, uzantı, destek parçası), hood, menteşe ayrı malzeme özelliklerine ve derinliğine sahiptir. İç ve dış panel genellikle alüminyum alaşımlı malzemelerden meydana gelir. Braket, hood ve menteşe alüminyum veya demir alaşımlı malzemelerden imal edilir.

Uygulamanın yapıldığı fabrikada sabit akımlı(CC) PWA 27072 no'lu punta tabancası ile derinlik ve basınç değerine göre yeşil buton veya mavi buton ile belirlenen puntalama işlemi yapılır. Punta kaynak parametreleri aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

**Tablo 2.1:** Punta kaynak parametreleri

<i>Kaynak Ayar Değerleri</i>	<i>Birim</i>	<i>P01</i>	<i>P02</i>	<i>P03</i>
<i>Kaynak Modu</i>		<i>CC</i>	<i>CC</i>	
<i>Darbe Sayısı</i>	<i>Adet</i>	<i>2</i>	<i>2</i>	
<i>Steper</i>		<i>1</i>	<i>1</i>	
<i>Sequenz 1</i>	<i>cycle</i>	<i>10</i>	<i>10</i>	
<i>Sequenz 2</i>	<i>cycle</i>	<i>15</i>	<i>25</i>	
<i>Bekleme ( Hold)</i>	<i>cycle</i>	<i>15</i>	<i>20</i>	
<i>Basınç 1 ( P1)</i>	<i>Nümerik</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	
<i>Basınç 2 ( P1)</i>	<i>Nümerik</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	
<i>Up Slope Time</i>	<i>cycle</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	
<i>Weld Time</i>	<i>cycle</i>	<i>20</i>	<i>20</i>	
<i>Down Slope Time</i>	<i>cycle</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	
<i>Bekleme Zamanı(Watt )</i>	<i>cycle</i>	<i>2</i>	<i>2</i>	
<i>Kaynak Açısı (1^Angle)</i>	<i>Deg</i>	<i>90</i>	<i>90</i>	
<i>Boşluk (Blank)</i>	<i>cycle</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	
<i>Kaynak Akımı</i>	<i>kA</i>	<i>11</i>	<i>11,5</i>	

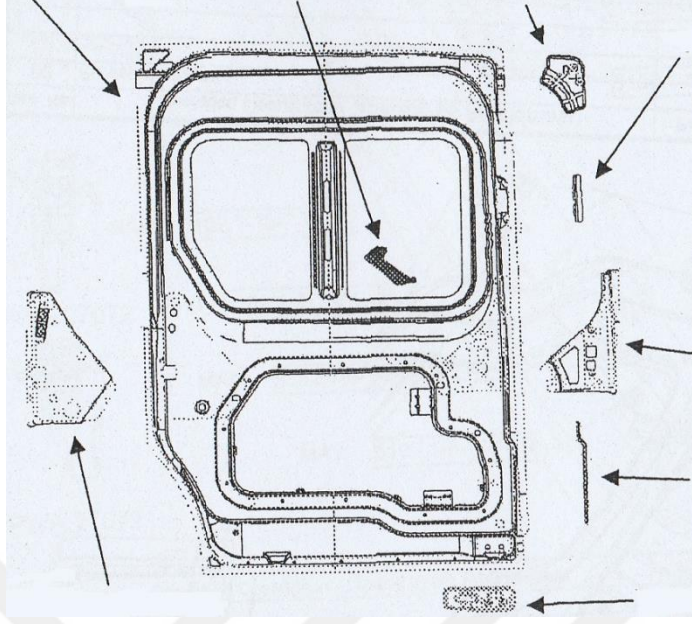
  

<i>ÖLÇÜLEN KAYNAK SÜRESİ</i>	<i>cycle</i>	<i>20</i>	<i>20</i>
<i>ÖLÇÜLEN KAYNAK AKIMI</i>	<i>kA</i>	<i>11</i>	<i>11,5</i>
<i>ÖLÇÜLEN SOĞUTMA SÜRESİ</i>	<i>cycle</i>	<i>15</i>	<i>20</i>
<i>ÖLÇÜLEN BASINÇ DEĞERİ</i>	<i>kg</i>	<i>220</i>	<i>220</i>
<i>AKIM SENSÖRÜ TOLERANS DEĞERLERİ</i>	<i>min</i>	<i>%5</i>	<i>%5</i>
	<i>max</i>	<i>%5</i>	<i>%5</i>

### 2.1.2.3. Punta Noktalarının Malzeme Yerleşimine Göre Tespiti

Punta kaynak hattına yerleştirilen iç panel ve üzerine gelecek olan gövde parçalarının belirli fikstür ve tabanca kullanımı ile birleştirilmesi işlemidir. Seçilen örnek iç panel parçası üzerinde 8 adet gövde parçası punta kaynak yoluyla birleştirilir.

Bu işlem yapılırken dikkat edilmesi gereken puntalama yapılan gövde parçasına göre tabanca tipi(C tipi veya makas tipi), kullanılan elektrodlar(sabit veya hareketli çene) ve kaynak akımı(9-11.8kA)dır.



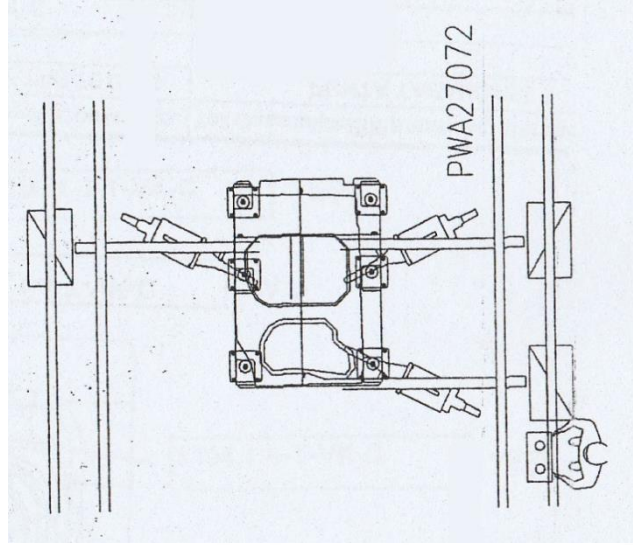
**Şekil 2.16:** İç panel ve gövde parçaları

Daha önceki bölümde değinilen, derinlik ve basınç değerine göre punta kaynak makinası üzerinde bulunan yeşil ve mavi buton istenen işlemi gerçekleştirmeyi sağlar. Mühendis, çizimlerin bulunduğu ve herbir punta kaynak noktasına numara verdiği operasyon sayfasında bunları belirtir. Punta kaynak bölümünde operatör bu sayfadaki yönergeleri izleyerek işlemi oluşturur. Son aşamada, kalite kontrol bölümünde kaynak noktalarının deformasyonları incelenir. Gerekirse, mühendis bu operasyonu yeniden revizyona sokar.

#### **2.1.2.4. Fikstür Kullanımı ve Çoklu Fikstür Yerleşimi**

Şekil 2.9'da gösterilen fikstür iç panel ve gövde parçalarının işlem sırasında sabit kalmasını sağlayan çenelerden oluşur. İç panel ve iş hattında bulunan kasalardan alınan modele uygun gövde parçaları işçi tarafından yerleştirilir ve çeneler kapatılır.

Şekil 2.17'de gösterilen punta kaynak hattında, iç paneli sabitleyen 6 adet temel çeneden oluşmaktadır. Fikstürün yan tarafında bulunan gövde parçaları işçi tarafından iç panele yerleştirilir. Operasyona başlamadan önce, 6 temel fikstür çenesi ve ayrıca gövde parçalarını sabitleyen ek çeneler kapatılır. Şekil 2.10'de gösterilen punta tabancasının çenelerinin oturduğu fikstür punta bağlantı ekipmanları da sabitlenerek işlem tamamlanır.



Şekil 2.17: Punta kaynak hattı

### 2.1.3. Sealer İşlemi

Bir cihaz ve bir yöntem ile birlikte hemming panellerinin bir çifti için bir sızdırmazlık işlemi yapılıyor olmasıdır. Takım montajını panellerin kenar kısımları boyunca hareket ettirmek için bir robot gibi çok eksenli bir manipülatöre eklenmiştir. Alet paneline bir hemming rulo monte edilir ve panellerin kenar kısımları boyunca dış panelin flanşlı kenar kısmını iç panelin kenar kısmına katlamak için çok eksenli manipülatör tarafından hareket ettirilmek üzere uyarlanır. Sızdırmazlık mekanizması, flanşlı kenar kısmı iç panele katlandıktan hemen sonra, hemming eklemine sızdırmaz hale getirir. Sızdırmazlık mekanizması yapışkan bir sızdırmazlık maddesi olabilir.

Bu uygulama, iç ve dış gövde panellerinin kenarlarının bir bağlantı eki ile birleştirilmesi ile ilgilidir ve daha özel olarak ek yerinin kenarı ve eklememin nemin girmesine karşı sızdırmazlığını sağlar.

Mastikleme işlemi paneller arasındaki ezilmeyi önlemek ve iki panel arasındaki kenar katlama işleminde dolguyu oluşturmak için kullanılır. Mastik adı verilen bu dolgu malzemesi Şekil 2.18'de görülen sıvı tabancası ile iç panel üzerine uygulanır. İç panelin kenarlarına ve belirlenen noktalara uygulanır.



**Şekil 2.18:** Mastik tabancası

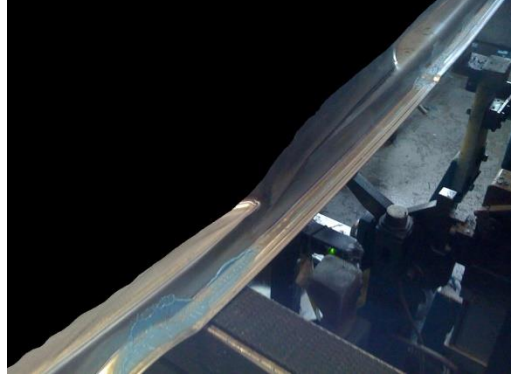
Clinch hattının ön tarafında bulunan sealer hattına yerleştirilen iç panel robot kol ile alınır. Robot kol ve mastik tabanca sensörü belirlenen bölgeler için işleme başlar. Panel sacın iç kenarlarına ve önemli noktalarına mastik uygulanır.

Aynı sealer mastiğin dış panele de uygulandığı durumlarda bulunmaktadır. Şekil 2.19'daki otomobil ön kapısının dış panelinde bu görülmektedir.



**Şekil 2.19:** Dış panel mastik işlemi

Eğer mastiğin akışı ve miktarı iyi ayarlanamaz ise, preste yapılan kenar katlama işleminden sonra Şekil 2.20'de görülen mastik taşmaları oluşabilir. Bu taşmalar, kürlleme ile düzeltilecek kadar az olmadığı için elle temizlenir. Kürllemeye ileride değinilecektir.



**Şekil 2.20:** Mastik hatası

İkinci sıvı mastik işlemi motor kaputu dış paneline uygulanır. Aynı zamanda diğer iç panellerin belirli kısımlarına da bu mastik uygulanır.

Diğer sıvı mastikten ayrı olarak rengi siyahtır ve robotik kol sistemi kullanılarak gerçekleştirilir. Şekil 2.21’de bu işlem gösterilmiştir. Sıvı mastik ince uçtan akıtılarak panelde belirlenen noktalara ve bölgelere sürülür. Genellikle iç ve dış panelin birleştiği orta kısımlarda bulunan iç paneldeki dirsek benzeri bölgeye sürülür (Şekil 2.22).



**Şekil 2.21:** Robotik mastik



**Şekil 2.22:** Siyah mastik

Üçüncü sealer işlemi Şekil 2.23’de gösterilmektedir. Pad sealer adı verilen bant ile iç ve dış panelde presleme işleminde birbirine temas edebilecek bölge engellenmiş olur. Dış panelde pad sealerin yapıştırılacağı bölge bir gönye ile tespit edilir. Pad sealerin yapışkan kısmı belirlenen bölgeye yapıştırılır.

Bu işlem stok kısmından alınan dış panelin fikstüre yerleştirilmesinden sonra yapılır. Bu işlem operatör tarafından yapılır.



Şekil 2.23: Pad mastik işlemi

#### 2.1.4. Clinch(Kenar Katlama) İşlemi

İki panelin birleştirilmesini temel alan kenar katlama işlemine clinch denilmektedir. Presin iki kalıbı ve alt kalıbın yanında bulunan kenetler yoluyla bu işlemi yapması presine dayanır.



Şekil 2.24: Pres alt kalıbı ve kenetler

Kenar katlama presi şu ekipmanlardan oluşmaktadır: üst kalıp, alt kalıp, kenetler ve kenetlere bağlı plakalar. Şekil 2.24'de alt kalıp, 12 adet kapalı kenet ve kenetlerin hareket ettirdiği kenar plakalar görülmektedir.

##### 2.1.4.1. Clinch(Kenar Katlama) İşlem Geometrisi

İşlemi tanımlarsak, robot kol ile tutulan iç ve dış panel, dış panel alt kalıbın içinde kalacak şekilde yerleştirilir. Robot kol geri gider. Üst kalıp iç panel üzerine kapanır ve 90°lik flanş oluşturulur. Üst panel eski konumuna dönmeden önce, kenetler içeri doğru hareket ederek

plakaları dış panelin kenarlarına doğru iter. Yani, flanş kenarları içeriye doğru kapatılarak clinch işlemi tamamlanmış olur.

Çalışma hattı olarak Şekil 2.24’de gösterilen yerleşimde olduğu gibi iki clinch presi kullanılarak işlem gerçekleştirilir. Makina arızası, bakım ve stok fazlalığı sebebiyle hatta tek pres kullanılabilir.

Şekil 2.25’de makina arızası veya seri ürün hatası sebebiyle açılan hat görülmektedir. Kenet plakalarından dolayı ortaya çıkan sorunlar üretimin aksamasına sebep olur.



**Şekil 2.25:** Kenar katlama presi

Burada asıl önemli olan, kenet plakaları içeri girerken alt panelin yukarıya doğru hareket etmesidir. Birleştirilen bölgelerdeki daha sonra bahsedilecek olan deformasyon hataları nedeniyle bu işlem yapılmaktadır. Kenar katlama işlemi bittikten sonra, üst ve alt kalıp eski konumuna döner. Gövde robot kol tarafından alınarak bir sonraki işlem için hatta hareket eder.

#### **2.1.4.2. Clinch(Kenar Katlama) Presi Kullanımı**

Ürün sehpasından robot kol ile alınan iç ve dış panel, presin alt kalıbına konur. Kalıbın alt çeneleri kapatıldıktan sonra, operatör presi çalıştırır. Kenar katlama işlemi tek adımda veya malzemede meydana gelebilecek yırtılma ve çatlaklara karşı iki adımda yapılır. Uygulanan yük ve basınç değeri bu aşamada çok önemlidir.

Ön kenar kıvrırma ve kenar kıvrırma aşamaları tek bir kalıp grubu, hem de iki ayrı kalıp seti ile gerçekleştirilebilir. Tek bir kalıp seti kullanımı avantajları:

- Tek makinede iki adımda işlemi bitirir.
- Üretim hattında yer gereksinimleri azalır.
- Bir presten panelleri hareket ettirmek için gereken zaman azalır.
- Kalıp maliyetleri daha düşüktür.

Bununla birlikte, ön hemming ve hemming iki yerine tek bir kalıp seti kullanımı nedeniyle kalıp bakım problemlerine ve daha zor üretim uygulamalarına uygun olmayabilir.

#### **2.1.4.3. Pres Basıncının Belirlenmesi**

Pres basıncının belirlenmesinde iş parçasının geometrisi en önemli faktördür. Düzgün yüzey-düzgün kenar parçalarda kenar katlama işlemi sırasında deformasyonların görülme olasılığı çok düşüktür. Otomobil gövde parçalarında ise, düzgün, iç bükey, dış bükey yüzeyler ve kenarlar bulunur. Bu tür yüzeylerin preste basılması için ayrı kalıplar oluşturulur ve pres basıncı değerleri belirlenir.

Ayrıca pres basıncı belirlenirken, işlem sonrasında yüzeyde geri yaylanma, büyüme vb. deformasyonlar oluşmamalıdır.

#### **2.1.4.4. Clinch(Kenar Katlama) İşlemi Uygulaması**

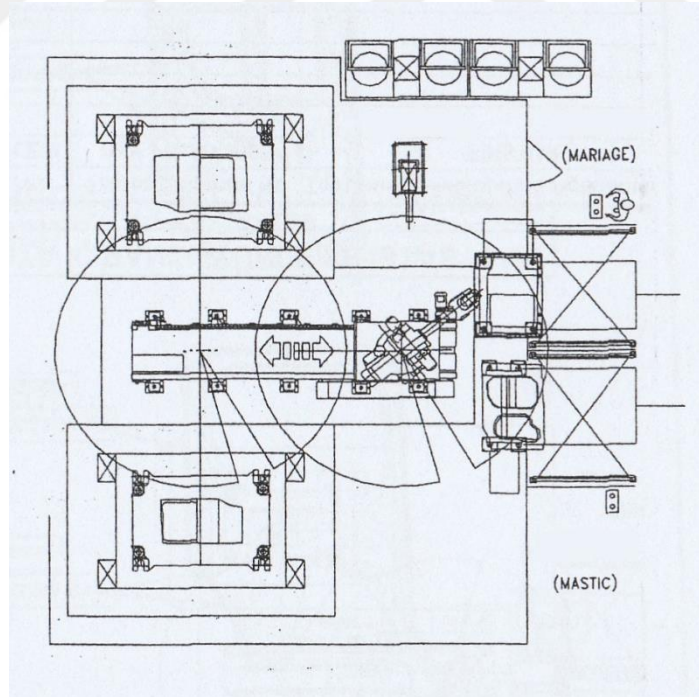
Gövde iç ve dış panelin birleştirilmesi, otomotiv yan sanayide hizmet vermekte olan bir firmada gerçekleştirilen gözlemlere dayanır. İlerleyen bölümlerde bahsedileceği üzere robotik sistem yapısını sadece makineye iş parçasını yüklerken kullanırız. İç panele uygulanan mastik işlemi sonrasında, önceden kenarlarına mastik ve orta kısmına ped sealer uygulanan dış panel ürün sehpasında robot kol ile üst üste getirilir. Daha sonra robot kol henüz birleşmemiş bu iki parçayı clinch presinin alt kalıbına koyar.

Aşağıdaki Şekil 2.26'da anlatılan bu işlemler gösterilmiştir. Burada iki pres kullanılmaktadır. İki adet tonajlı clinch presinde, alt kalıbın üzerine üst kalıbın kapanması sonucu kenarların katlanması işlemi tamamlanır.

Burada dikkat edilmesi gereken husus, tek adımda yapılan bu işlem sonucu kenarlarda yırtılma ve üst üste binme vb. deformasyonlar oluşur. Bunu önlemek için, alt kalıbın dış kısmına içeriye doğru 45°'lik eğim oluşturan hareketli çeneler bağlanır. Tek fark, üst kalıbın işlemi iki adımda bitirmesidir. Her iki işlemde de, 90°'lik flanş oluşur. İkinci işlemde 45°'lik eğim ile 0°'lik bitiş tamamlanır.

Bazı alüminyum alaşımlarının kullanıldığı gövde dış panelinde, birincil işlem tercih edilir. Alüminyum, çelik vb. alaşımların kullanıldığı yüksek mukavemetli malzemelerde ikincil işlem ve açış değeri deformasyona uygun olarak azaltılan benzeri işlemler uygulanır.

Genel olarak, 0°-90°, 0°-45°-90° ve 0°-30°-60°-90° değerleri işlem adımlarında kullanılır.



Şekil 2.26: Kenar katlama sisteminin fabrikadaki yerleşim düzeni

### 2.1.5. Curing(Kürleme) İşlemi

Kenar katlama işleminden sonra robot kol ile alınan gövde kürleme bölgesine götürülür. Gövde kürleme sehpasına yerleştirilir (Şekil 2.27). Daha sonra işleme başlamak için fikstür çevresine eşit aralıklarla yerleştirilmiş kürleme nozulları panel üzerine kapanır.



Şekil 2.27: Kürleme bölgesi

Bu nozullar gövde panelinde katlama işlemi yapılmış kenarlara uygulanır. Asıl amacı, katlama kenarlarından preste basıldığı sırada taşan sealer mastiği ısıtmak ve içerideki sealer mastiği ısıtarak eşit dağılımlı olmasını sağlamaktır.

İşlem bittikten sonra, Şekil 2.27’de görülen beyaz renkteki nozullar açılır ve iş parçası makaralı bant sistemi üzerinde hareket ederek diğer işlemler için dışarı çıkarılır.

### 2.1.6. Punta Metal Finiş İşlemi

Kürleme işlemi bittikten sonra iş parçası makaralı bant sistemi ile punta metal finiş bölümüne alınır. Kenetler ile iş parçası sabitlenir ve puntalama işlemi başlar.



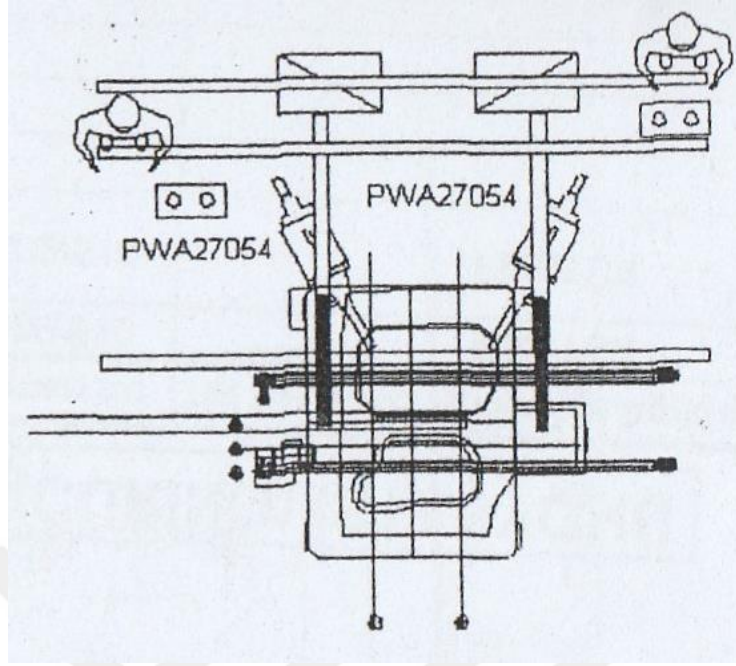
**Şekil 2.28:** Kürleme bölgesi

1. fikstürde yapılan punta kaynak işleminden farklı olarak, iç ve dış panel montajı yapılan iş parçasına işlem uygulanacaktır. 1. fikstürde hatırlayacağımız üzere sac malzeme ve farklı malzemelerden imal edilen montaj parçalarının kaynak işlemi yapılmaktaydı.

Şekil 2.28’de görüldüğü üzere bu bölüm kapalı hattın dışındadır. Çünkü aynı malzemenin oluşan iç ve dış panel puntalama sırasında herhangi bir kazaya yol açmamaktadır.

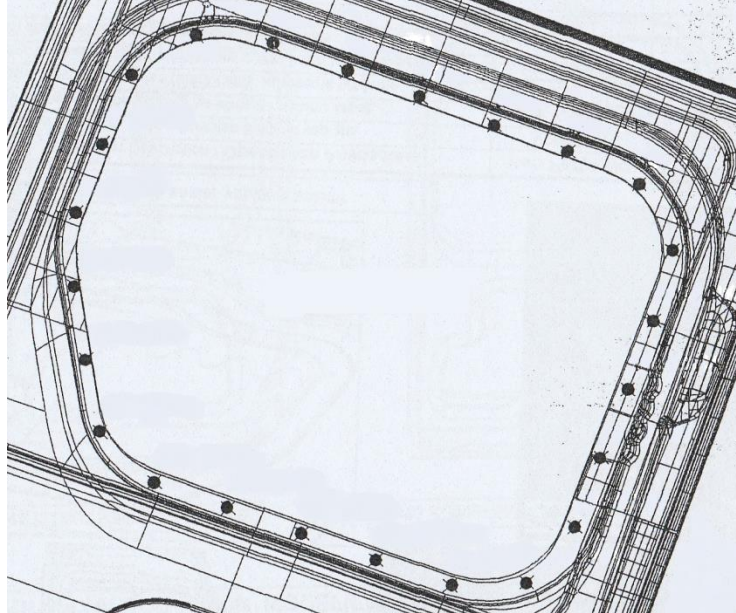
#### **2.1.6.1. İşlemin Yan Sanayi Uygulaması Üzerinde Gösterimi**

İş parçası robot kol ile clinch hattından alındıktan sonra parça bandı üzerine konur. Parça bandı üzerinde dışarıya çıkan iş parçası kürleme fikstürüne alınır. Bu işlem bittikten sonra iş parçası işçi tarafından punta fikstürüne yerleştirilir. Aşağıdaki Şekil 2.29’de bu işlem yapısı gösterilir.



**Şekil 2.29:** Punta metal finiş işleminin fabrikadaki yerleşim düzeni

Bu hatta yapılacak operasyon, otomobil kapısına yerleştirilen camın sabit kalmasını sağlayan perçinleme deliklerinin oluştuğu puntalama işlemidir. Şekil 2.30'de iç ve dış panel karşılıklı gelecek şekilde 24 veya 36 delikten oluşur.



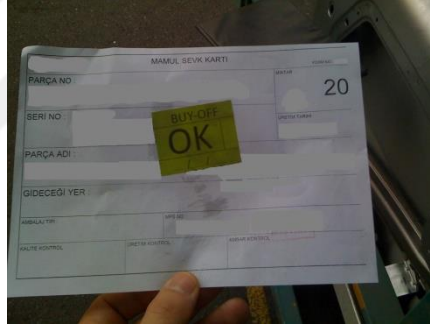
**Şekil 2.30:** Punta metal finiş işlemi operasyon çizimi

### 2.1.7. Buyoff Kontrol İşlemi

Son kontrol anlamına gelen buyoff işlemi gövdenin onaylanması ve dışarıya sevk edilmeye hazır olması anlamına gelir.

Gövde üzerinde yapılması gereken punta metal finiş ve sealer temizleme işlemleri bittikten sonra buyoff işlemi başlar. Bir buyoff işlemi şu aşamalardan oluşur.

- Sealer temizleme sehpasından alınır ve buyoff sehpasına konur.
- Gövdenin iç panel puntaları titreşimli zımpara ile zımparalanır.
- Yüzey ve punta kontrolü yapılır.
- Katranger sıvısı ile dış yüzey kontrolü yapılır.
- Gövde bitmiş ürün sehpasına konur.



**Şekil 2.31:** Mamul sevk kartı

Bütün bu kontroller sonunda, bitmiş ürün sehpasına konmak üzere mamul sevk kartı hazırlanır (Şekil 2.31). Bu kartta, parça adı, parça numarası, seri numarası, gideceği yer, üretim miktarı ve üretim tarihi muhakkak yazılmalıdır.

Eğer bitmiş üründe hasar yoksa, mamul sevk kartına yukarıdaki şekilde görülen onay bandı yapıştırılır. Tam tersi durumda, kırmızı renkteki red bandı yapıştırılır ve hatalı ürün sehpasına konur.

## 2.2. PPAP PROSES PLANLAMA İŞLEMLERİ

### 2.2.1. Proses Akış Diyagramlarının İmalata Etkileri

Otomobil üretiminde 90'lı yıllardan bu yana kalite yönetim sistemlerinde çok fazla değişim yaşandı. 1994 yılında yayınlanan ISO 9000 serisi standartları otomobil üretimi yapan kuruluşlar tarafından da kabul görmeye başlandı. Fabrikalar kendi sistemlerini bu standardın şartlarına göre tekrar gözden geçirdi ve ISO 9000 belgesini almak önemli bir üretim kabul aracı olarak önemsendi.

Ama bu gelişmeler otomotiv sektöründe farklı algılandı. ISO 9000 serisi standartları otomotiv sektörü kuruluşları için yeterli yeterli gelmemeye başlandı. Bu yüzden ilk olarak Amerikalı kuruluşlar olan Ford, Chrysler ve General Motor değişim başlattı. Bu kuruluşlar bir araya gelerek ISO 9000 serisi standartlar üzerine ana fabrika ve yan sanayi için ek şartlar ilave etti (QS 9000). Bu kuruluşların tedarik zincirinde yer alabilmek için söz konusu ek şartları da yerine getirmek gerekmektedir.

Otomotiv firmalarının öne sürdüğü ek şartlar şu şekildedir:

- İleri Ürün Kalite Planlaması (APQP)
- Üretim Parçası Onay Prosesi (PPAP)
- Hata Türleri ve Etkileri Analizi (FMEA)
- İstatistiksel Proses Kontrol (SPC)

Otomotiv ana sanayicileri bunları yaparken, pazara sunulan ürünlerin sunum hızını azaltmayı, maliyetleri düşürmeyi ve kaliteyi artırmayı hedefledi [2].

2000'li yıllarda ise, ISO 9001 kalite yönetim sisteminin süreç odaklı yapısı ile QS 9000 eşdeğer müşteri istekleri ISO/TS 16949 Kalite Yönetim Sistemi Şartları altında toplandı [3].

Otomotiv sanayinde gerçekleştirilmesi planlanan bütün işlemlerin ve üretimin belirli proses aşamalarına ve standartlara uygun ilerlemesi için günümüzde süreç planlaması ve planlanan bu süreçlerin onaylanması büyük önem taşır. Süreçler, TS/ISO 16949:2002 kalite spesifikasyonuna uygun olarak oluşturulur. Ana fabrika ve yan sanayi süreçlerin tamamında etkileşim halindedir.

Bu teknik spesifikasyon'un amacı;

- Bir kalite yönetim sistemi geliştirilmesi
- Sürekli iyileştirmenin sağlanması
- Hataların önlenmesini vurgulama
- Tedarik zincirinde farklılığı ve israfı azaltma

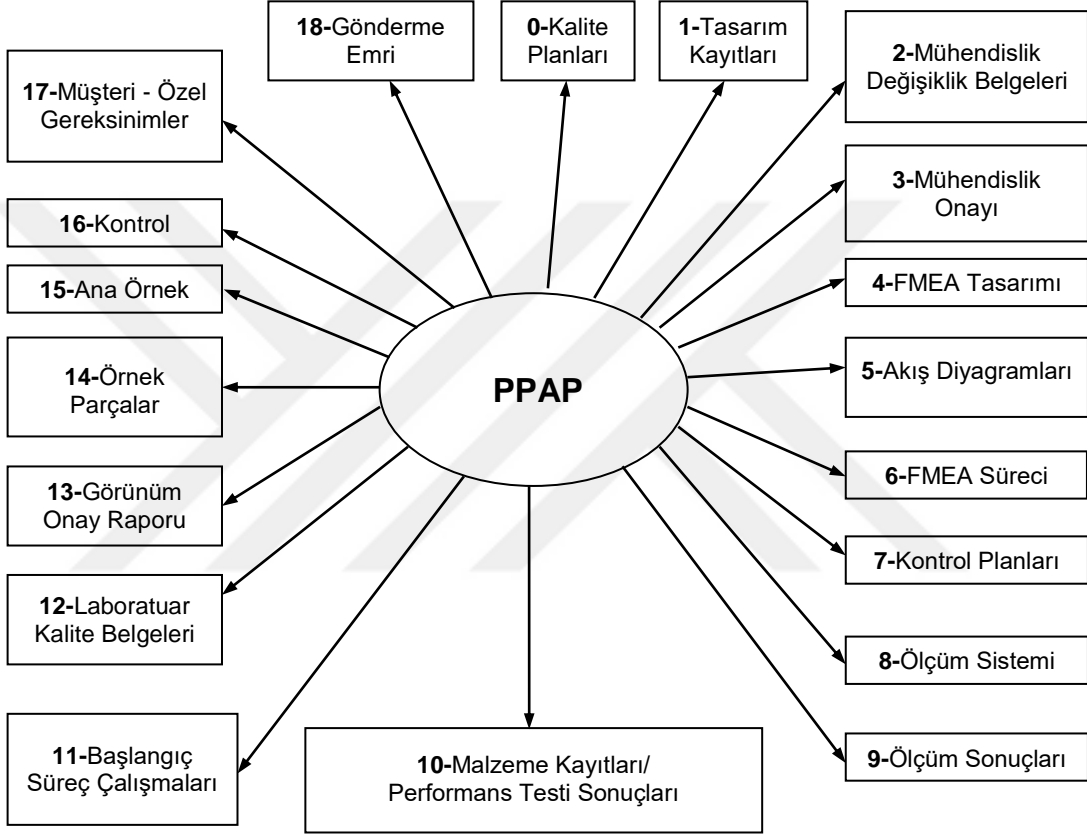
Standartlar/spesifikasyonlardaki bir değişiklik, bu spesifikasyonların tasarım kaydına veya kontrol planına bağlı olduğundan, FMEA'lar vb. gibi üretim parçası onayı süreci belgelerini etkilediğinden müşteri üretim parçası onay prosesi (PPAP) kayıtlarının sürekli revizyonunu gerektirir.

Otomotiv yan sanayii, bu süreçleri merkez fabrika ile etkileşimli ve eşzamanlı olarak gerçekleştirmek zorundadır. Bu bölümde, otomotiv yan sanayinde bir iş parçasının üretim aşamasında hangi prosedürlerden geçtiği gösterildi ve her bir prosedürün morfolojik yapısı incelendi.

PPAP (Production Parts Approval Process); üretimi yapılacak olan parçalar için onay sürecini ve onay için gereken genel şartları sağlayıp sağlamadığını tanımlar. Amacı, müşteri yani ana fabrikanın gereksinimlerine uygun olarak üretimi gerçekleştirmektir. Bu süreç belirli zamanlarda denetlenerek, yan sanayi ve ana fabrika arasında doğru koordinasyon ile istenilen ürün kalitesine ulaşılmasını sağlar. PPAP sürecini oluşturan adımlar Şekil 2.32'de gösterilir.

### 2.2.2. Proses Sayfalarının Genel Yapısı

İlk olarak, PPAP sürecini oluşturan adımlar ve bu adımların içeriği anlatıldı. Daha sonrasında ise, otomotiv sanayinde kullanılan bu sürecin uygulamada nasıl bir etki gösterdiği örneklerle belirtildi.



Şekil 2.32: PPAP adımları

Yeni ürün oluşturmak veya varolan ürünü geliştirmek için kullanılan PPAP adımları;

(0) – Kalite planlama

(1) – Tasarım kayıtları

Yan sanayi üretimi yapan fabrika, parça çizimlerine ana fabrikanın mühendislik departmanından ulaşır. Aynı şekilde CAD datalarına da ulaşması mümkündür. Bu belgelerden sadece yan sanayi üretimi yapan fabrikanın mühendisi sorumludur.



Burada tasarıma göre gerekli tanımlama ve hata verileri girildikten sonra hata şiddeti(sev) 1 ile 10 arasındaki değerlerde belirtilir. Hataların olası nedenleri belirtilerek bu olasılığın değeri(1-10) verilir. Belirtilen olası nedenlere göre fabrikada hangi mevcut tasarım kontrollerinin yapılacağı verisi girilir. Yapılan kontroller sonucu hata önleyici keşfedilebilirlik değeri(1-10) belirtilir. Bu değer ve tanımlamalara bağlı olarak risk öncelik sayısı(RPN) değeri 1 ile 1000 arasında girilir. RPN değerini bulmak için hata şiddeti, hata olasılığı ve keşfedilebilirlik değerlerinin çarpımını (sev \* occur \* detec) kullanırız. Sonuç olarak, alınan önlemlerden sonra bu değerlerdeki iyileştirmeler gösterilir.

(5) – Süreç akış diyagramları

Üretimi yapılacak olan parçaya ait proses akış diyagramı yan sanayi üretiminin detaylarını içermektedir.

Süreç akış diyagramında montajını yapacağımız iş parçasının hangi fikstür ve makinayı nasıl bir sırayla kullanacağını gösteririz. Her bir adım için operasyon adı ve sürecin akışı belirtilir. Süreç akışının şematik gösteriminde taşıma, operasyon, depo/stok, proses akışı, gecikme, kontrol, karar, operasyon+kontrol vb. kriterler verilir. Yanı sıra, ürün ve proses karakteristikleri ve referans/kontrol metodları (talimatlar, operasyon sayfaları) belirtilir.

**Tablo 2.3:** Süreç akış diyagramı örneği

PROCESS FLOW DIAGRAM									
PART NUMBER:		NUMBER				DATE:			
PART DESCRIPTION:		NAME				PREPARED BY:			
STEP	FABRICATION	MOVE	STORE	INSPECT	OPERATION DESCRIPTION	ITEM #	PRODUCT AND PROCESS CHARACTERISTICS	ITEM #	CONTROL METHODS
	◇	○	△	□					

Otomobil yan sanayinde, herbir ürünün kullanıldığı yere göre farklı yapısı ve ayrılmış kodları bulunur. Örneğin; otomobil kapı montajı üretimi için ön kapı, tailgate, motor kaputu vb. ayrı akış şemaları ile sınıflandırılır. Tabii ki, bu da yeterli olmamaktadır.





ISO 16949 kontrol standardına uygun olarak hazırlanan genel kontrol planı montaj parçaları, ana parçalar, üretim süreci, üretim sonrası kontrolleri ve depolama sürecini kapsar.

Kontrol planında ilk olarak ürünün ad, no, tarih vb. verileri belirtilir. Sonrasında operasyon tanımına uygun kontrol karakteristikleri belirtilir.

Bu karakteristikler, otomobil kapı montajında iç ve dış panel, diğer parçalar, boyutsal kontroller, FPA değerlendirme, operasyon olarak punta ile sealer kontrolleri, vuruks-deformasyon kontrolü, bitmiş üründe kasalama ve etiket kontrolünü kapsar.

Kontrol metodları bölümünde ise, proses şartnamesi/toleransı, değerlendirme tekniği/ölçüm aleti, kontrol numunesinin adedi ve ne kadar sıklıkla yapılacağı, kullanılan metot, ayrıca kontrolü yapan ve kontrol belgesinin numarası belirtilmelidir.

Proses şartnamesi/toleransı otomobil kapı montajında tanımlama kartları, ana fabrika kontrol planları ve kontrol sırasında görülmesi istenmeyen hataların belirtildiği kısımdır.

Son bölümde, kontrol sonucu parçanın veya montajın uygun görülmemesi durumunda hangi reaksiyonun gösterileceği girilir. Bu reaksiyon montaj öncesinde kullanılan parçaların ret edilmesi, montaj sırasında oluşan hataların düzeltilmesi, montaj sonrasında hatalı üretilen serinin ayıklanması, depolama sırasında yeniden yerleşimi oluşturur.

#### (8) – Ölçüm sistemi analizi (MSA)

Yan sanayi, bütün ekipmanlar için uygulanabilir bir ölçüm sistem değerlendirmesine sahiptir. Seri üretim kontrol belgesi her hattın ürettiği üründen bir parti alınarak yapılan ölçümün verilerini içerir.





## (9) – Boyutsal sonuçlar

**Tablo 2.9:** Boyutsal test sonuçları belgesi

Production Part Approval - Dimensional Test Results							
ORGANIZATION:		SUPPLIER		PART NUMBER:		NUMBER	
SUPPLIER VENDOR CODE:				PART NAME:		NAME	
NAME OF INSPECTION FACILITY:				DESIGN RECORD CHANGE LEVEL:			
				ENGINEERING CHANGE DOCUMENTS:			
ITEM	DIMENSION/SPECIFICATION	SPECIFICATION / LIMITS	TEST DATE	QTY TESTED	ORGANIZATION MEASUREMENT RESULTS (DATA)	OK	NOT OK

Montajı yapılan parça için ölçüm testleri CAD data referans alınarak yapılır. Otomobil kapı parçasında yapılan ölçümler şu şekildedir;

- IPK ölçümleri (Cp ve Cpk yüzdeleri)
- Boyutsal ölçüm raporları (şekil üzerinde gösterim – Koordinat boyutu üzerinden gösterim)

## (10) – Malzeme / Performans test sonuçları

Malzeme / performans testleri ana fabrikanın malzeme şartnamelerine göre hazırlanır.

**Tablo 2.10:** Malzeme test sonuçları belgesi

Production Part Approval - Material Test Results							
SUPPLIER		SUPPLIER		PART NUMBER		NUMBER	
NAME OF LABORATORY				PART NAME			
				NAME			
TYPE OF TEST	MATERIAL SPEC. NO./DATE/SPECIFICATION	SUPPLIER TEST RESULTS				OK	NOT OK

**Tablo 2.11:** Performans test sonuçları belgesi

Production Part Approval Performance Test Results								
SUPPLIER		SUPPLIER		PART NUMBER		NUMBER		
NAME OF LABORATORY				PART NAME				
				NAME				
REF. NO.	REQUIREMENTS	TEST FREQ.	QTY. TESTED	SUPPLIER TEST RESULTS AND TEST CONDITIONS			OK	NOT OK

(11) – İlk süreç çalışmaları

İlk üretim çalışmalarının performansı ve yeterliliği ana fabrika için kabul edilebilir olmalıdır.

(12) – Nitelikli laboratuvar

Laboratuvarın QS-9000 belgesine sahip olduğunu gösteren belgelerdir. Ayrıca ölçüm aletleri listesi vb. laboratuvar yeterlilik belgeleri olmalıdır.

(13) – Görünüm onay raporu(AAR)

Görünüm onay raporu bütün parçalar için ayrı ayrı yapılır.

**Tablo 2.12: Görünüm onay raporu**

APPEARANCE APPROVAL REPORT																							
PART NUMBER						DRAWING NUMBER						APPLICATION (VEHICLES)											
PART NAME						BUYER CODE				E/C LEVEL				DATE									
SUPPLIER NAME						MANUFACTURING ADDRESS LOCATION						SUPPLIER CODE											
REASON FOR SUBMISSION		<input type="checkbox"/> PART SUBMISSION WARRANT				<input type="checkbox"/> SPECIAL SAMPLE				<input type="checkbox"/> RE-SUBMISSION				OTHER									
		<input type="checkbox"/> PRE TEXTURE				<input type="checkbox"/> FIRST PRODUCTION SHIPMENT				<input type="checkbox"/> ENGINEERING CHANGE													
APPEARANCE EVALUATION																							
SUPPLIER SOURCING AND TEXTURE INFORMATION												PRE-TEXTURE EVALUATION			CUSTOMER REPRESENTATIVE SIGNATURE AND DATE								
												CORRECT AND PROCEED											
												CORRECT AND RESUBMIT											
												APPROVED TO TEXTURE											
COLOR EVALUATION																							
COLOR SUFFIX	TRISTIMULUS DATA					MASTER NUMBER	MASTER DATE	MATERIAL TYPE	MATERIAL SOURCE	HUE				VALUE		CHROMA		GLOSS		METALLIC BRILLIANCE		COLOR SHIPPING SUFFIX	PART DISPOSITION
	DL*	Da*	Db*	DE*	CMC					RED	YEL	GRN	BLU	LIGHT	DARK	GRAY	CLEAN	HIGH	LOW	HIGH	LOW		
COMMENTS																							
SUPPLIER SIGNATURE						PHONE NO.			DATE			CUSTOMER REPRESENTATIVE SIGNATURE						DATE					

(14) – Örnek parça üretimi

Örnek parça üretimi CAD data ve ana fabrika isteklerine uygun olmalıdır.

(15) – Ana örnek

Ana örnek CAD dataya uygun olarak üretilir. Ana örnek kalıpların her pozisyonu için ayrı ayrı üretilir. Son olarak, ana fabrika ve yan sanayi FPA sonuçları karşılaştırılır.

(16) – Kontrol araçları

Kontrol araçları yan sanayi tarafından üretimi kontrol altında tutmak amacıyla düzenlenir. Fikstür kullanma talimatı vb. kontrol araçları fabrikanın üretim hatlarına yerleştirilir.

(17) – Ana fabrika özel gereksinimleri

Ana fabrikanın kabul edilebilir tüm özel gereksinimleri kaydedilir.

**Tablo 2.13:** Yiğın malzeme geçici onay formu örneği

<b>BULK MATERIAL INTERIM APPROVAL FORM</b>			
SUPPLIER NAME: SUPPLIER	PRODUCT NAME: NAME		
SUPPLIER CODE: CODE	ENG. SPEC.:		
MANUF. SITE: CITY	PART #:		
ENG. CHANGE #: ECL	FORMULA DATE:		
RECEIVED DATE:	RECEIVED BY:		
SUBMISSION LEVEL:	EXPIRATION DATE:		
TRACKING CODE:	RE-SUBMISSION DATE:		
<b>STATUS: (NR - Not Required, A - Approved, I - Interim)</b>			
Design Matrix	DFMEA:	Special Product Characteristics	Engineering Approval
Control Plans	PFMEA:	Special Process Characteristics	Process Flow Diagram
Test results	Process Studies:	Dimensional Results	Master Sample
Measurement Systems Studies:	Appearance Approval Report		
SPECIFIC QUANTITY OF MATERIAL AUTHORIZED (IF APPLICABLE):			
PRODUCTION TRIAL AUTHORIZATION #:			
REASON(S) FOR INTERIM APPROVAL:			
ISSUES TO BE RESOLVED, EXPECTED COMPLETION DATE			
(CLASSIFY AS ENGINEERING, DESIGN, PROCESS, OR OTHER):			
ACTIONS TO BE ACCOMPLISHED DURING INTERIM PERIOD, EFFECTIVE DATE:			
PROGRESS REVIEW DATE: _____ DATE MATERIAL DUE AT PLANT: _____			
WHAT ACTIONS ARE TAKING PLACE TO ENSURE THAT FUTURE SUBMISSIONS WILL CONFORM TO BULK MATERIAL PPAP REQUIREMENTS BY THE SAMPLE PROMISE DATE?			
SUPPLIER (AUTHORIZED SIGNATURE)		PHONE:	
(PRINT NAME)		DATE:	
CUSTOMER APPROVALS (as needed):		PHONE:	DATE:
PRODUCT ENG. (SIGNATURE)			
(PRINT NAME)			
MATERIALS ENG. (SIGNATURE)			
(PRINT NAME)			
QUALITY ENG. (SIGNATURE)			
(PRINT NAME)			
INTERIM APPROVAL NUMBER:			

**Tablo 2.14:** Yığın malzeme gereksinim kontrolü belgesi

<b>Bulk Materials Requirements Checklist</b>					<b>Project:</b>			
				Required / Target Date	Primary Responsibility Customer	Supplier	Comments / Conditions	Approved by / date
<b>Product Design and Development Verification</b>								
	Design Matrix							
	Design FMEA							
	Special Product Characteristics							
	Design Records							
	Prototype Control Plan							
	Appearance Approval Report							
	Master Samples							
	Test Results							
	Dimensional Results							
	Checking Aids							
	Engineering Approval							
<b>Product Design and Development Verification</b>								
	Process Flow Diagrams							
	Process FMEA							
	Special Product Characteristics							
	Pre-launch Control Plan							
	Production Control Plan							
	Measurement System Studies							
	Interim Approval							
<b>Product Design and Development Verification</b>								
	Initial Process Studies							
	Part Submission Warrant (CFG-1001)							
<b>Product Design and Development Verification</b>								
	Customer Plant Connection							
	Change Documentation							
	Subcontractor Considerations							
Plan agreed to by:					Company/Title/Date			

(18) – Parça gönderme emri

Üretim parçası onay prosesinden geçtikten sonra yan sanayi PSW(Part Submission Warrant) üzerinde gerek duyulan bütün bilgileri girerek belgeyi ana fabrikaya gönderir.

Tablo 2.15: Parça gönderme emri örneği

Part Submission Warrant											
Part Name						Part Number					
Safety and/or Government Regulation				<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No		Engineering Drawing Change Level				Dated	
Additional Engineering Changes						Dated					
Shown on Drawing Number				Purchase Order No.				Weight (kg)			
Checking Aid Number				Engineering Change Level				Dated			
SUPPLIER MANUFACTURING INFORMATION						SUBMISSION INFORMATION					
Supplier Name						<input type="checkbox"/> Dimensional		<input type="checkbox"/> Materials/Function		<input type="checkbox"/> Appearance	
Street Address						Customer Name/Division					
						Buyer/Buyer Code					
City			State			Zip			Application		
Note:		Does this part contain any restricted or reportable substances?						<input type="checkbox"/> Yes		<input type="checkbox"/> No	
		Are plastic parts identified with appropriate ISO marking codes?						<input type="checkbox"/> Yes		<input type="checkbox"/> No	
REASON FOR SUBMISSION											
<input type="checkbox"/> Initial submission				<input type="checkbox"/> Change to Optional Construction or Material							
<input type="checkbox"/> Engineering Change(s)				<input type="checkbox"/> Sub-Supplier or Material Source Change							
<input type="checkbox"/> Tooling: Transfer, Replacement, Refurbishment, or additional				<input type="checkbox"/> Change in Part Processing							
<input type="checkbox"/> Correction of Discrepancy				<input type="checkbox"/> Parts produced at Additional Location							
<input type="checkbox"/> Tooling inactive > than 1 year				<input type="checkbox"/> Other - please specify							
REQUESTED SUBMISSION LEVEL (Check one)											
<input type="checkbox"/> Level 1 - Warrant only (and for designated appearance items, an Appearance Approval Report) submitted to customer.											
<input type="checkbox"/> Level 2 - Warrant with product samples and limited supporting data submitted to customer.											
<input type="checkbox"/> Level 3 - Warrant with product samples and complete supporting data submitted to customer. (circle)											
<input type="checkbox"/> Level 4 - Warrant and other requirements as defined by customer. 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19											
<input type="checkbox"/> Level 5 - Warrant with product samples and complete supporting data reviewed at supplier's manufacturing location.											
SUBMISSION RESULTS											
The results for <input type="checkbox"/> dimensional measurements <input type="checkbox"/> material and functional tests <input type="checkbox"/> appearance criteria <input type="checkbox"/> statistical process package											
These results meet all drawing and specification requirements: <input type="checkbox"/> YES <input type="checkbox"/> NO (If "NO" - Explanation Required)											
DECLARATION											
I affirm that the samples represented by this warrant are representative of our parts and have been made to the applicable customer drawings and specifications and are made from specified materials on regular production tooling with no operations other than the regular production process. I also certify that documented evidence of such compliance is on file and available for review.											
EXPLANATION/COMMENTS:											
Print Name				Title				Phone No. #####		Fax No.	
Supplier Authorized Signature						Date					
FOR CUSTOMER USE ONLY (IF APPLICABLE)											
Part Warrant Disposition: <input type="checkbox"/> Approved <input type="checkbox"/> Rejected						Part Functional Approval: <input type="checkbox"/> Approved					
<input type="checkbox"/> Interim Approval						<input type="checkbox"/> Waived					
Customer Name				Customer Signature				Date			

(19) – Ortak dökümanlar

Ortak dökümanlar bütün parçalar için hazırlanır.

### 2.2.3. Proses Sayfalarının İmalata Etkileri ve Kontrolü

Proses sayfalarının genel yapısı Ford Otomobil Fabrikasının yan sanayi ürünlerinden gövde ekipmanlarını imal eden bir firmada incelendi.

Burada Ford 227V model aracın sol kayar kapısı incelendi. Elde edilen veriler buna uygun olarak örneklendi.

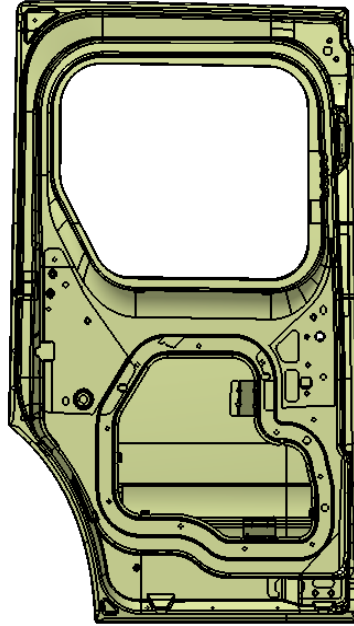
İlk olarak PPAP adımları tekrar gözden geçirildi. Buna göre, sol kayar kapı PPAP adımları:

(0) – Kalite planlama

Ana fabrikaya ve TS/ISO 16949 kalite spesifikasyonlarına bağlı kalınır. Yani, otomobil üreticileri ürettikleri ürünlerdeki kalite standardına yan sanayinin de bağlı olmasını ister.

(1) – Tasarım kayıtları

Örnek olarak alınan sol kayar kapının genel görünüşü aşağıdaki şekilde gösterildi. Burada, ana fabrikadan sorumlu mühendise gönderilen çizimler oluşturulur. Ayrıca, gerektiğinde ana gövde ve gövde parçalarında yeniden revizyona gidilir.



Şekil 2.33: Gövde modelinin görünüşü

(2) – Mühendislik değışiklik belgeleri

Eğer gövde modelinde veya gövde parçalarında değışikliğe gidilirse bu belge ana fabrikaya gönderilir.

(3) – Ana fabrika mühendis onayı

Ana fabrikadan gelen onay belgesidir ve bu da dosyaya eklenmelidir.

(4) – FMEA tasarımı (Arıza Modu ve Etki Analizi)

Ana fabrikadan gönderilen gövde modeli ve operasyonlar için tanımlanmış arıza modlarıdır.

Bu kısım kadar olan bütün çalışma işletme faaliyetlerinin belgelendirilmesini içerdi. Buradan sonra ise, esas imalat işlemleri ve imalata etkileri gösterildi.

(5) – Süreç akış diyagramları

Süreç akış diyagramında montajımı yapacağımız iş parçasının hangi fikstür ve makinayı nasıl bir sırayla kullanacağı gösterildi.

İlk bölümde gösterilen gövde imalat adımları iş akış şemasında gösterildi. Yapılan sol kayar kapının 9 adımda montajı yapıldı.

1. adımda, yarı mamul halinde parçaların girdisi yapıldı. Bu adımın 3 kolu bulunmaktadır. Ürün girişi, parçaların kalite kontrolü(hatalı ise gönderimi) ve sorunlu değil ise stoklara alınır.

2. adımda, işçi tarafından parçalar yüklendi ve yalnızca iç panel punta kaynak operasyonuna başlandı.

3. adımda, işçi tarafından gövde parçaları iç panele yüklendi ve bağlantı punta kaynak operasyonu yapıldı.

4. adımda, mastik işlemi için işçi panelleri yerleştirdi.

5. adımda, iç ve dış panel robot kol ile prese yüklendi.

6. adımda, clinch hattına yerleştirilen iç panel üzerine dış panel belirlenen ölçülerde katlandı.

7. adımda, ürün bandı ile taşınan montaj parçası kürlendi.

8. adımda, punta metal finiş işlemi yapıldı.

9. adımda, bitmiş ürünün son kontrolü yapıldı ve onay aldıktan sonra sevkiyatı gerçekleşti.

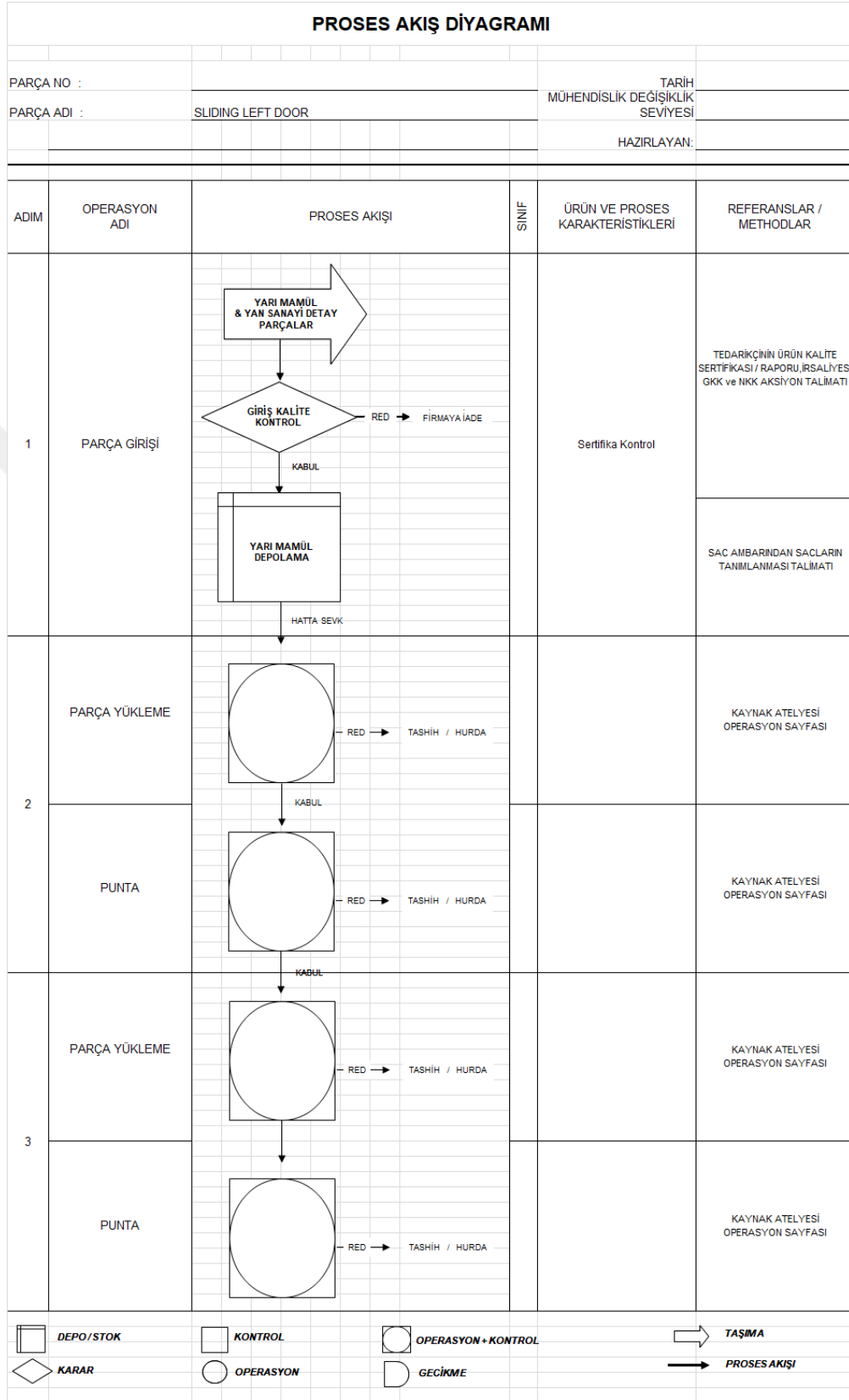
Bu sol kayar kapı üretimi sırasında 5 operasyon sayfası kullanılır. Aşağıdaki şekilde, iki kez üzerinde değişikliğe gidilen kenar katlama işleminin operasyon sayfası gösterildi.

Bodyshop Process Sheet / Kaynak Atelyesi Operasyon Sayfası																
Model	I.E No	Part name	Next assy	Body type	Van	Kombi	Short	Long	Lhd	Rhd	Sld	Nsld	Giz	Unglz	iftgati	Svo
V227	30	CAMLI CAMSIZ K.KAPI			X	X	X	X	X	x	X		X	X	X	
Date/Tarih	Revision / Revizyon	Responsible Sorumlu														
-	ILK YAYIN	-														
-	REVIZYON	-														
-	REVIZYON	-														
			SOL KAYAR KAPI	KISA MODEL	İÇ-DIŞ PANEL PRESLEME İSTASYONU											
Opr. No	Operation Description		Part	Tool no	Tool Description											
10	X-10 (iç panel) kompleksinin robot kolu ile X-20(dış panel) kompleksiyle birleştirilmesi ve prese yerleştirilmesi.		X-10KOMPLESI X-20 KOMPLESI		PRES											
20	Preste X-20'nin çevre flanşlarının CLINCH işlemiyle kapatılması.		X-10KOMPLESI X-20 KOMPLESI		PRES											
Symbols:			∇ Controlled Weld / Kontrollü Kaynak													
Prepared by	Checked by	Approved by	Plant	Assembly area	Sheet No	Process										
			KOCAELI	KAPORTA HATTI	1/1											

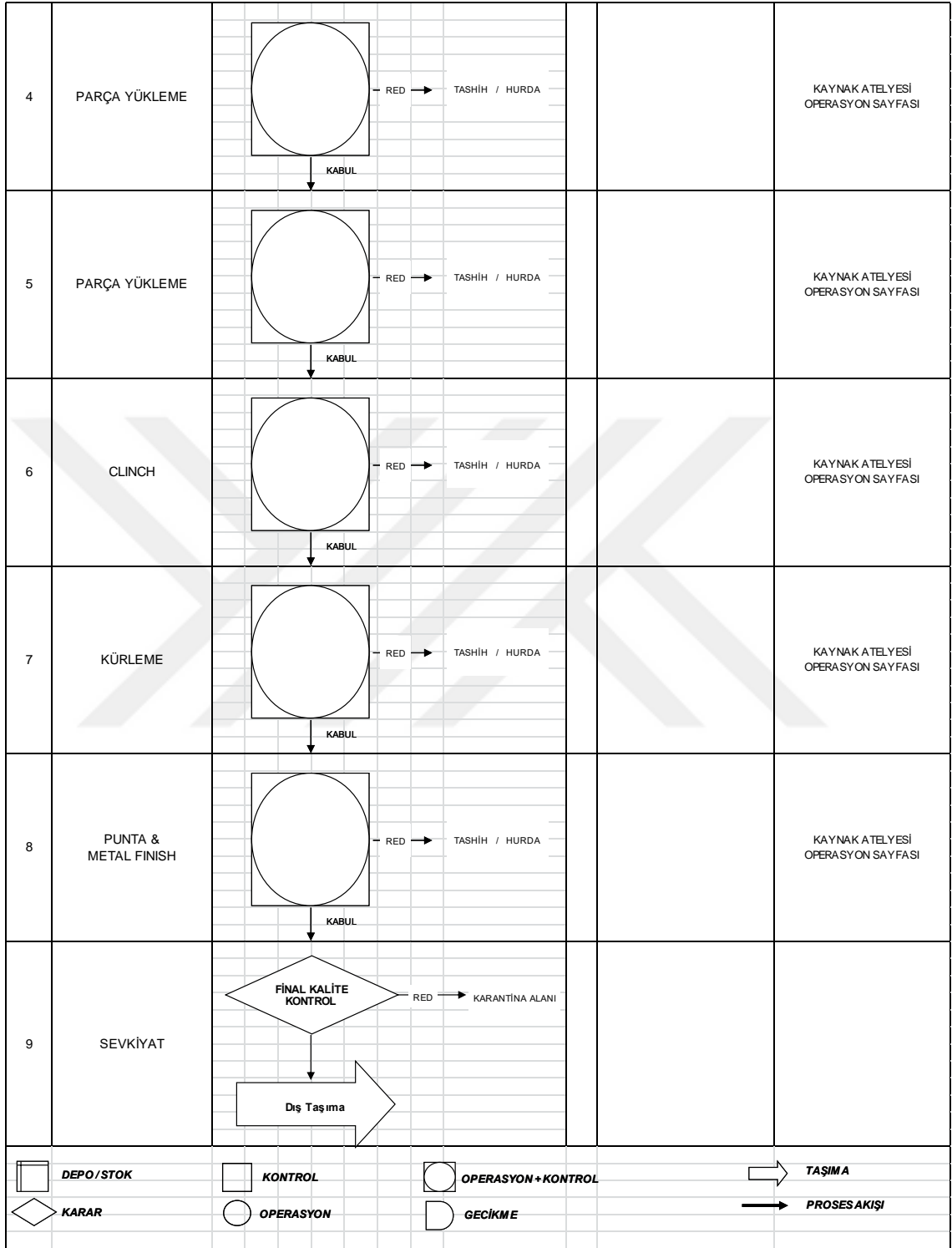
Şekil 2.34: Clinch Hattı Operasyon Sayfası

Her bir adım için operasyon adı ve sürecin akışı operasyon seri numaraları ile belirtildi. Süreç akışının şematik gösteriminde taşıma, operasyon, depo/stok, proses akışı, gecikme, kontrol, karar, operasyon+kontrol vb. kriterler verildi. Yanı sıra, ürün ve proses karakteristikleri ve referans/kontrol metodları (talimatlar, operasyon sayfaları) belirtildi.

Tablo 2.16: Sol kayar kapı proses akış diyagramı



Tablo 2.17: Sol kayar kapı proses akış diyagramı



(6) – FMEA süreci

Tablo 2.18: Sol kayar kapı FMEA

POTENTIAL FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS (PROCESS FMEA)										FMEA Number:					
Print #	Rev.	Process Responsibility:		Key Date	Prepared by:	Date (Orig.)	Date (Rev.)	Responsibility & Target Date	Actions Taken	Severity	Occurrence	Detection			
Item:	FORD	Process Responsibility:		Key Date	Prepared by:	Date (Orig.)	Date (Rev.)	Responsibility & Target Date	Actions Taken	Severity	Occurrence	Detection			
Model Year(s)/Vehicle:	V277	Process Responsibility:		Key Date	Prepared by:	Date (Orig.)	Date (Rev.)	Responsibility & Target Date	Actions Taken	Severity	Occurrence	Detection			
Team:		Process Responsibility:		Key Date	Prepared by:	Date (Orig.)	Date (Rev.)	Responsibility & Target Date	Actions Taken	Severity	Occurrence	Detection			
Process Function/Requirements	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Severity	Occurrence	Potential Cause(s)/Mechanism(s) of Failure	Current Process Controls	Detection	RPN	Recommended Actions	Responsibility & Target Date	Actions Taken	Severity	Occurrence	Detection	
placement of parts in the fixture	misplacement	line stop	7	2	mechanical failure	buy-off control	28	28							
	wrong assembly part	failure to assemble	8	2	staff error	buy-off control	32	32							
	damaged part	repair	4	7	transport	buy-off control	56	56							
	clamp failure	customer complaint	7	1	mechanical failure	buy-off control	28	28							
	bruise formation on the outer panel	repair	5	4	fixture clamps	buy-off control	120	120	change in product stand	fixture maintenance team (f.m.t.)	made to fit the outer panel	5	2	4	40
	bruise formation on the inner panel	repair	5	4	fixture clamps	buy-off control	120	120	change in product stand	(f.m.t.)	made to fit the outer panel	5	2	4	40
	no pad sealer	customer complaint	7	6	misunderstand the operation page	buy-off control	168	168	jig sensor	(f.m.t.)	sensor added to jig	7	2	4	56
	misplacement pad sealer	customer complaint	7	6	staff error	buy-off control	168	168	bonding jig	(f.m.t.)	jig apparatus added	7	2	4	56
	missing spot welding	welding incompatibility	7	3	staff error	buy-off control	147	147	spot welding counter	maintenance	counters added to spot welding	7	1	7	49
	bruise spot welding	welding incompatibility	7	3	staff error	buy-off control	147	147							
loose spot welding	welding incompatibility	7	3	staff error	tear down - cold chisel control	147	147								

İncelenen sol kayar kapı ürünü için, operasyonlar sırasında ortaya çıkan olası hatalar ve bunun üretim hattına etkileri önceki sayfada incelendi. Bu tablo, herbir operasyon için ayrı ayrı yapıldı. RPN(risk öncelik sayısı) en aza indirgenmeye çalışıldı.

(7) – Kontrol planları

Kontrol planında operasyon adımları sırasında ve sonrasında yapılan kontroller için bir sıralama oluşturuldu. Ürün üzerinde her operasyon sonrasında şartnamelere uygun olarak boyutsal kontroller ve değerlendirmeler yapıldı.

Sol kayar kapı kontrol planında, istatistiksel proses kontrolü, teardown testleri, sealer testleri lazer yüzey tarama ve fonksiyon nokta analizi yapıldı. Bu elde edilen değerler bir INKR(Kalite Analiz Raporu) raporu ile belirtildi.

Bu inceleme sonuçları Ek kısmında kalite evi ile ayrıntılı olarak incelendi.

#### **2.2.4. FMEA(Arıza Modu ve Etki Analizi) Kullanımının Proses Katkıları**

İmalat sürecinde iş parçası için, üretim hattında en uygun kaliteyi yakalamak çok önemlidir. Bu sebeple, meydana gelecek olası hatalar tanımlanır ve etkileri azaltılır.

Parça için oluşturulan operasyon adımları ve hattın gereksinimleri sol kayar kapı numunesi için göz önüne alındı. Buna göre, ayrı ayrı her hatta meydana gelmiş veya gelebilecek olan hata türleri listelendi. Hata türlerinin bize hatta ne gibi bir sorun çıkaracağı belirtildi. Bu durumda, önceliğimizi belirten hata şiddeti sayısı yazıldı.

İkincil olarak, hatanın nedeninin işçi, makine-teçhizat veya sorumlu operatör kaynaklı olup olmadığı belirtildi. Buna bir olasılık değeri atanarak, kontroller yapıldı ve kontroller sonucu bir keşfedilebilirlik sayısı belirlendi. Bu kontrol sonucu istenilen kazanımı sağlama oranıdır.

Bu ara işlemler sonucu bir RPN sayısı elde ederiz. Bu sayı, herbir operasyon için belirlendi. Risk önceliğine göre, tablo sıralamasında en yüksek değerler operasyon sırasında muhakkak düzeltilmesi gereken kısımlardır.

$$\text{RPN} = \text{hata şiddeti} \times \text{hata olasılığı} \times \text{keşfedilebilirlik}$$

Son olarak, mühendis ve operatör başta olmak üzere bir takım oluşturuldu ve alınması gereken önlemlere karar verildi. Önerilere uygun olarak alınan önlemlerde hatanın şiddeti, hata olasılığı ve keşfedilebilirlik yeniden belirlendi. Bunun sonucunda, RPN değeri eğer hatayı engelliyor ise daha düşük çıkar. Yapılan sol kayar kapı üretim hattında da bu dikkate alındı. RPN değerleri, 1/3 oranında düşürüldü.

### 2.3. ROBOTİK SİSTEM YAPISI

İş parçalarının daha kısa zamanda üretilmesini sağlamak için kullanılan sistemlerden biridir. Kullanılan makinelerin çalışanlar açısından tehlike oluşturmaması ve bu robot kol yardımıyla birden fazla prosesi gerçekleştirmeye imkan sağladığı için tercih edilir. Aşağıdaki resimde görülen robotik sistem ile taşıma, sealer ve clinch işlemleri gerçekleştirilir.

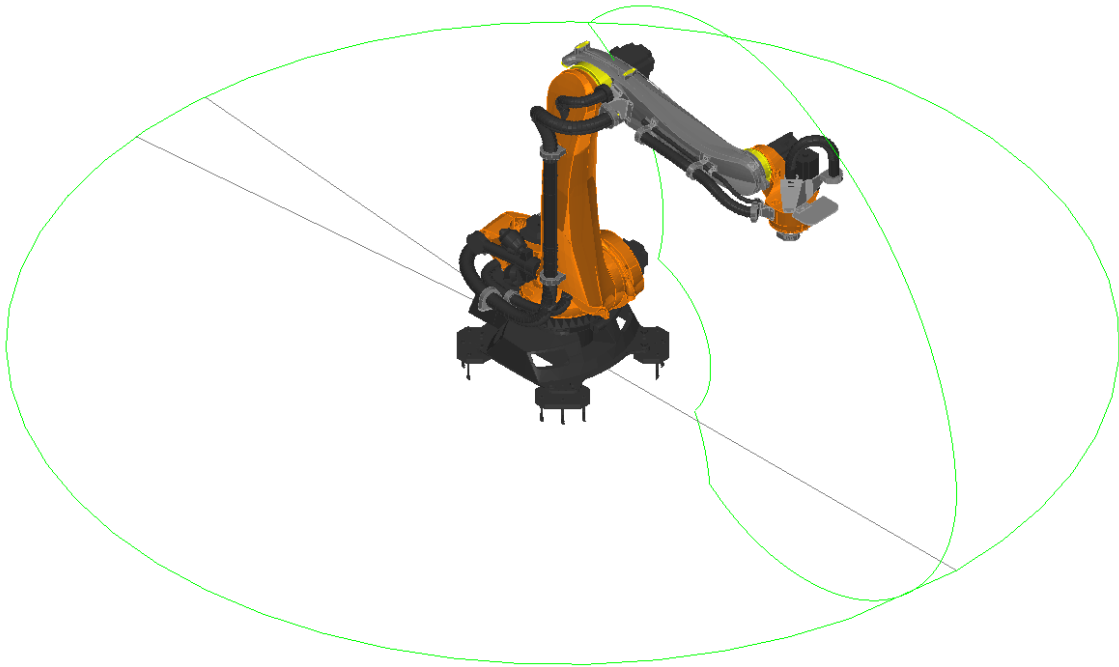


Şekil 2.35: Robotik sistem

Hatta kullanılan robotik sistemdeki robot kolu önce operatör tarafından konan iç paneli alır ve mastik işlemi için sıvı mastik tabancasının altına götürür. İşlem bittiğinde iç paneli operatörün koymuş olduğu dış panelin üzerine kapatır. Birleşen bu iki paneli alarak hatta ilerler ve clinch presine götürür. Clinch presinin boşluğuna gövdeyi yerleştirir.

Prete iki panel birleştirildikten sonra robot kol gövdeyi alır ve kurlama işlemi için diğer bir fikstüre koyar. Bu işlemler diğer panelleri birleştirmek için tekrar tekrar devam eder.

### 2.3.1. Robotik Sistem Koordinat Geometrisi



Şekil 2.36: Robotik sistem koordinat geometrisi

Yukarıdaki şekilde gösterilen 6 eksenli robotun teknik verileri şu şekildedir:

Maksimum erişim 2896 mm

Anma yükü 240 kg

Anma ek yükü, döner sütun / bağlantı kolu / kol 0 kg / 0 kg / 50 kg

Nominal toplam yük 290 kg

Tekrarlanabilirlik(ISO 9283)  $\pm 0.06$  mm

Eksen sayısı 6

Montaj pozisyonu Zemin

Adım 830 mm x 830 mm

Yaklaşık ağırlık 1145 kg

Eksen verileri

Hareket aralığı

A1  $\pm 185^\circ$

A2  $-140^\circ / -5^\circ$

A3  $-120^\circ / 155^\circ$

A4  $\pm 350^\circ$

A5  $\pm 122.5^\circ$

A6  $\pm 350^\circ$

Anma yükü ile hız

A1 105  $^\circ/s$

A2 101  $^\circ/s$

A3 107  $^\circ/s$

A4 136  $^\circ/s$

A5 129  $^\circ/s$

A6 206  $^\circ/s$

Çalışma koşulları

Çalışma sırasındaki ortam sıcaklığı 10  $^\circ C$  to 55  $^\circ C$  (283 K to 328 K)

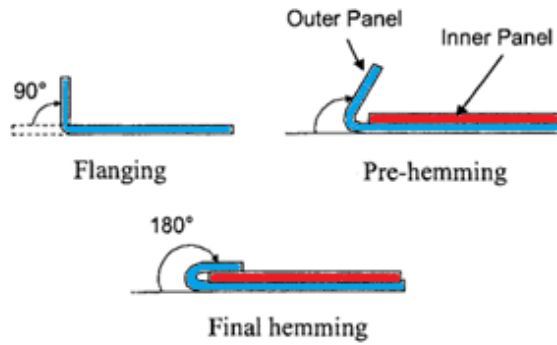
|

### 3. MALZEME VE YÖNTEM

#### 3.1. ROBOTİK SİLİNDİR HEMMING İŞLEM YAPISI

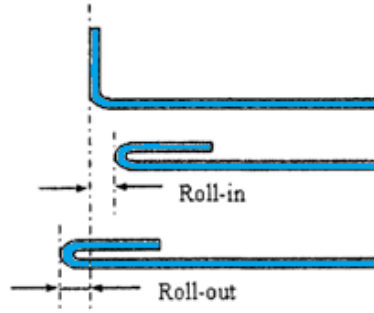
##### 3.1.1. Bükme Geometrisi

Robotik silindir hemming dış paneli veya  $180^\circ$  nominal eğilme açısı ile dış paneli iç panele katlamak için yapılan operasyon adıdır. Bu iç panelin kenarlarını düzgün bir şekilde kapatmak, dış otomobil gövdesine pürüzsüz bir yüzey görünümü vermek için üretimin son aşamalarında kullanılmaktadır. Bu nedenle kenar kıvrırma, hem bir montaj işlemi, hem de bir metal şekillendirme işlemidir. Üretim işleminin son adımı olan, hemming yüzey ve montaj kalitesi üzerinde kritik bir etkiye sahiptir.

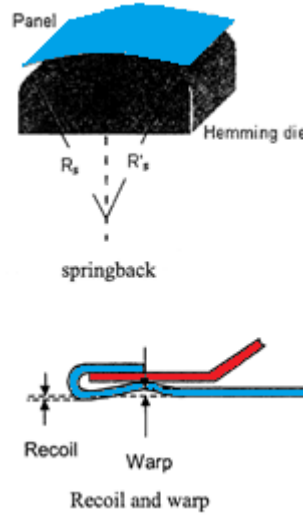


Şekil 3.1: Robot silindir hemming adımları

Flanş, ön kenar kıvrırma ve son kenar kıvrırma, Şekil 2.23’de gösterildiği gibi, bükme açısı  $0^\circ$ ’dan  $180^\circ$ ’ye gelene kadar, iyi bir ürün kalitesi elde etmek için genellikle 3 adımı takip eden işlemleri kapsamaktadır.  $90^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $150^\circ$  ve son  $180^\circ$  anma açıları sırasıyla üç adımda üretilir.



Şekil 3.2: İçe yuvarlanma ve dışı yuvarlanma



Şekil 3.3: Geri esneme, geri tepme ve eğrilik

İş parçasında boyutsal kalite sorunları, çeşitli şekillerde ortaya çıkmaktadır.. Hemming sırasında, metal yüzeyinde oluşan geri tepme/eğrilik sorunu Şekil 3.2’de verilen iş parçası kenarının hatalı ölçülerle katlanması sonucu oluşur. Robotik silindir hemming takımı ile üretilen panel üzerinde Şekil 3.3’de verilen geri esneme, geri tepme ve eğrilik sorunları parça esnemesi sonucu istenilen geometriden sapmasına yol açar.

Bu boyutsal kalite sorunları, montaj aşamasında sorunlara neden olur ve ana fabrikada gövde son montajı sırasında kalitesini etkileyecektir. Algılanan bu sorunlar, operasyon sırasında kullanılan makine ekipmanın değişimine yol açabilir. Boyutsal ve düzlemsel olarak ise, kontroller yapılarak iş parçası kenarındaki veya yüzeyinde deformasyonlar en aza indirilmektedir.

Daha önceki çalışmalarda, iki boyutlu (2D) sonlu eleman (FE) modeli kullanılarak, bu AA6111 - T4 alüminyum alaşımlı düz yüzey-düz kenar panelin robotik silindir hemming için önemli olan hemming proses parametreleri ve katlama kalitesi arasındaki ilişki incelenmiştir. Kalite ölçülürken katlama kenarının roll-in/roll-out değerleri için kullanılan açık sonlu eleman analizinde bükülmüş yüzey üzerinde en fazla gerçek gerilme görülür. FE modeli ile birlikte hemming işlemini oluşturan alt süreçler (flanşlama, ön - hemming ve nihai hemming) açık ve kapalı modeli birleştirir. Sonuçlar öncesi hemming kalıp açısı ve flanş kalıp yarıçapı katlama kenarı roll-in/roll-out değerleri üzerinde büyük etkiye sahiptir, ön gerilme ve flanş kalıp yarıçapı etkisi ile maksimum yüzey gerilimi olduğunu göstermektedir. Sonuçlar değerlendirilirken kabul edilen şekillenebilirliğe ulaşmak için robotik silindir hemming işleminde proses parametre seçimi çok önemlidir[4].

Proses parametreleri

C: flanş kalıbı ve zımba arasındaki boşluk

L: Flanş uzunluğu

P: Ön katlayıcı yolu

$R_d$ : Kenar bükme kalıp yarıçapı

$\epsilon_0$ : Sac ön - gerilim

$\theta$ : Ön katlayıcı açısı

Alüminyum alaşımları, Müderrisoğlu ve diğerleri ile ilgili daha önce bulunan (1996) flanş uzunluğu, flanşlama zımba yarıçapı, esneme ve alüminyum alaşımlı AA1050 için eğilme yükünün arasındaki ilişkiler referans alınmıştır. Final Hemming sırasında yüzeyde meydana gelen kenar katlama çatlağı oluşumu, bu süreçte geometrik proses parametreleri ve ayrıntılı hemming sınırları arasındaki ilişkiler ile bulunmuştur. Sarkar ve diğerleri (2001) eğilme yarıçapının azalması ile iki otomotiv AA5754 alaşımını incelemiştir. Alaşımın kimyasal bileşimi bükülme gerilimi sınırını etkilemiş ve standart bir çekme testi ile ön gerilim elde edilen bölgede azalma görülmüştür. Dao ve Li (2001) tarafından yeni bir çalışma sonucunda büyümeyi ve AA6111-T4 malzeme yüzeyinin yırtılmasına yol açan yüzey pürüzlülüğü özelliklerinden kaynaklanan sınırlandırılmış deformasyonu incelemiştir. Graf ve Hosford (1994) ön gerilimin bir sonucu olarak saf bir gerilim altında alüminyum alaşımı AA6111-T4 için malzeme deformasyon sınırlarını belirledi. Ancak bu bilgiler, bükme veya hemming için

saf gerilim bulunmadığından kalınlık boyunca gerilme ve şekil geçişleri nedeniyle doğrudan geçerli değildir. Genellikle proses parametrelerinin dikkatli seçimi roll-in/roll-out, geri tepme / eğilme ve çatlama maruz kalan katlama işleminde, proses parametre değerleri arasındaki ilişkileri ve bunların toplamı dahil olmak üzere oluşan kusurları en aza indirmeye çalışılmıştır ve buna rağmen bükme köşe bölgesinde meydana gelen gerginlik hala bilinmemektedir.

FE model, 10 düzgün eleman ve tüm 2000 elemanın katmanları, 5 düzgün eleman ve tüm 500 elemanın katmanları ile bir iç panel ile dış panel arasında boşluk oluşturur. Bükme köşe bölgesinde dik gerilme geçişlerini beklentisiyle, mesh daha karşılık gelen bir alanda düzenlenir.

Metal yüzeyde oluşan sertlik çok daha yüksek olduğu için delme, flanş kalıbı, baskı plakası, ön katlayıcı ve son katlayıcı dâhil olmak üzere tüm parametrelerin, rijit yüzeyler olduğu varsayılarak analitik model oluşturulur. Katı elemanlar tarafından getirilen kısıtlamalara ek olarak, kenarın x-yönünde yörünge sabittir. Düz yüzey-düz kenar hemming simülasyonları için, 4 lineer yüzeyi düzlemsel gerilme olan (CPE4R) elemanlar kabuk mesh için kullanılır. İş parçasında operasyon sırasında şekil değiştirme yüksek bükme kenarı boyunca sınırlandırılmış olduğu için kabuk elemanları panellerde tercih edilmez.

Daha önceki uygulamalarda dış panel için tercih edilen malzemeler AA6111-T4 ve AAx611-T4 olmuştur. Gövde dış panel alüminyum alaşımları için standart çekme özellikleri % 23 gerilim değerine kadar ölçülebilir. Bununla birlikte, iç panelle birlikte işlem gören dış panelin katlama yüzeyinde ölçülen gerilme % 70 ya da daha yüksek olabilir.

Çekme gerilme-deformasyon diyagramı tanımlamak için, Swift modeli kullanılarak gerçek bir gerginlik ve gerçek stres açısından gerçek ölçülen veriler kullanılmıştır. Yoğunluk 70GPa, elastik modül 0.31, Poisson oranı 2700kg/m<sup>3</sup> olarak bulunmaktadır. Temas eden iç ve dış panel yüzeyleri arasındaki Columb sürtünme katsayısı 0.1 olarak bulunmuştur.

**Tablo 3.1:** FE model değerleri için parametreler

	Numerical	Physical
<b>Material</b>	AA6111-T4PD	AAx611-T4, AA6111-T4
<b>Blank</b>	100.0×75.0×2.0 mm	100.0×75.0×0.95 mm
<b>Inner panel</b>	82.9 ×75.0×2.0 mm	82.9 ×75.0×0.95 mm
<b>Inner panel offset</b>	4.0 mm	4.0 mm
<b>Flanging length</b>	12.0 mm	12.0 mm
<b>Punch radius</b>	2.0 mm	2.0 mm
<b>Flanging clearance</b>	2.4 mm	2.4 mm
<b>Flanging die radius</b>	2.5 mm	2.0 mm
<b>Pre-hemmer angle</b>	45°	45°
<b>Pre-hemmer path</b>	Vertical	84.3 ° (inclined)

Giriş parametrelerinin yatay ve dikey değerleri  $\varepsilon_0$ ,  $L$ ,  $R_d$ ,  $C$ ,  $\theta$  ve  $P$  için, ayrı ayrı % 0 ve % 4.88, 9 mm ve 12 mm, 1mm ve 3 mm, 1.05 mm ve 1.2 mm, 45° ve 60° örneği verilmiştir. Bu değerler tablo üzerinde -1 (düşük seviye) ve +1 (yüksek seviye) olarak belirtilmiştir. Kenar katlama işlemi için dikey yönde 1, yatay yönde -1 değeri atanmaktadır. Tablo 3.2’de gösterilen giriş parametre verilerine uygun olarak hesaplanan deformasyonların matrisidir.

İlk girdi değişkenleri:  $\varepsilon_0$ ,  $L$ ,  $R_d$ ,  $C$ ,  $\theta$ ,  $P$

Etkileşimli değişkenler:  $LP$ ,  $R_dP$ ,  $CP$ ,  $LR_d$ ,  $\theta P$ ,  $LC$ ,  $R_dC$ ,  $LCP$ ,  $L\theta P$ .

**Tablo 3.2:** Deformasyon matrisi

Input variables						Response	
$\varepsilon_0$	$L$	$R_d$	$C$	$\theta$	$P$	Roll-in/roll-out (mm)	Bend corner max surface strain
-1	-1	-1	-1	-1	-1	1.281	0.612
1	-1	-1	-1	-1	1	1.353	0.672
1	1	-1	-1	1	-1	1.050	0.701
-1	1	-1	-1	1	1	0.702	0.633
1	-1	1	-1	1	-1	0.919	0.662
-1	-1	1	-1	1	1	0.763	0.583
-1	1	1	-1	-1	-1	1.827	0.597
1	1	1	-1	-1	1	1.895	0.649
-1	-1	-1	1	1	-1	0.805	0.621
1	-1	-1	1	1	1	1.048	0.688
1	1	-1	1	-1	-1	1.475	0.687
-1	1	-1	1	-1	1	1.062	0.630
1	-1	1	1	-1	-1	2.082	0.645
-1	-1	1	1	-1	1	2.136	0.591
-1	1	1	1	1	-1	1.253	0.602
1	1	1	1	1	1	1.576	0.661

$$\begin{aligned} \text{Roll-in} = & 1.327 - 0.302\theta + 0.230R_d - 0.116LC \\ & + 0.103C + 0.102R_dC + 0.098\varepsilon_0 \end{aligned} \quad (3.1)$$

$$\bar{\varepsilon}_{\max} = 0.640 + 0.031\varepsilon_0 - 0.016R_d$$

Dış panelin katlama kenarındaki yüzey girilimini azaltmak için geniş flanş kalıbı yarıçapı ile düşük ön-gerilme tercih edilir. Geri tepme/eğriliği kontrol etmek için uygun flanş uzunluğu ve flanş boşluğu değerleri seçilerek ön-flanş açısı uygulanabilir.

İlk girdi değişkenleri arasında ön gerilim, flanş uzunluğu, flanşlama kalıp yarıçapı, flanş boşluğu, ön-katlama açısı, ön-katlama adımı değişken etkilerinin iş parçası üzerinde önemli olduğu tespit edilmiştir. Bu etkiler ise aşağıda açıklanmıştır:

- Dış panelde hemming roll- in değerlerini bulmak için, ön katlama açısı ve flanş kalıp yarıçapı;
- Ön gerilme ve maksimum yüzey gerginliği değerlerini bulmak için flanş kalıp yarıçapı;
- Ön katlama adımının roll-in/roll-out ve maksimum yüzey gerginliği deformasyonları üzerinde hiç etkisi yoktur.

Katı elemanlarda açık FE analizi ile flanşlama, ön ve son hemming ve kabuk elemanlarda kapalı analiz ile geri esneme tahmini için uygulamalar yapılmıştır. "Katı - kabuk eşleme" olarak adlandırılan yeni bir yöntem kabuk elemanlar ile katı elemanların birlikte kullanılarak daha iyi sonuçlar vermesi için geliştirilmiştir. En önemli değişkenler;

- roll-in/roll-out değerlerini belirleyen ön hemming açısı,
- sac paneldeki geri esnemeyi önleyen düşük yüzey eğriliği,
- yapılan operasyon için, maksimum katlama adımında düzlem gerilimi üzerine sac parçadaki ön gerilim ve flanş kalıp yarıçapıdır.

Hemming işleminde, değişkenlerin etkileri dikkate alındığında önemli olan değerler aşağıdaki gibidir.

$\epsilon_0$ : Sac ön - gerilme

$R_s$ : Yüzey yarıçapı

$R_c$ : Kenar yarıçapı

C: Flanşlama kalıbı ve zımba arasındaki boşluk

L: Flanşlama uzunluğu

$R_d$ : Kenar bükme kalıp yarıçapı

$\theta$ : Ön- katlama açısı

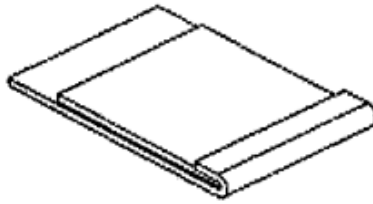
E: Young modülü

$\nu$ : Poisson oranı

M: Sac bükmede uygulanan moment

t: Sac kalınlığı

Şekil 3.4’de görüldüğü üzere neredeyse ilk uygulamaların çoğu düz yüzey-düz kenar hemming ile sınırlı kalmaktaydı. Üretimi yapılacak olan otomobil gövdesi iç ve dış panelleri genellikle kenar bükme ve kırpma yoluyla oluşturulduğu için, yüzey ve kenar kısımları değişik formlarda tasarlanmaktadır.



Şekil 3.4: Düz yüzey- düzgün kenar katlama

**Tablo 3.3:** Hemming işleminde için malzeme parametreleri

Young's modulus ( $E$ )	70GPa
Poisson's ratio ( $\nu$ )	0.3
Mass density ( $\rho$ )	2700kg/m <sup>3</sup>
Strength coefficient ( $K$ )	493.49Mpa
Strain hardening coefficient ( $n$ )	0.22

Sac iç ve dış panellerinin kalınlığının 1 mm olduğu durumda şu şekildedir. Kavisli kenar katlama için gerekli olan yüzey ve kenar yarıçaplarında otomobil gövde montaj panellerini birleştirmek yapılacak işlemdir. Kenar bükme sırasında, flanş kalıp ile mil arasındaki açıklık  $1.2t$  olarak belirlenmiştir. Dış tabaka üzerinde yeterli bir basınç ile katlama işlemini gerçekleştirmek için ön kenar katlama ve son kenar katlama da, iç panel, flanştan 3 mm mesafe arayla yerleştirilir.

**Tablo 3.4:** Hemming işlemi için operasyon parametreleri

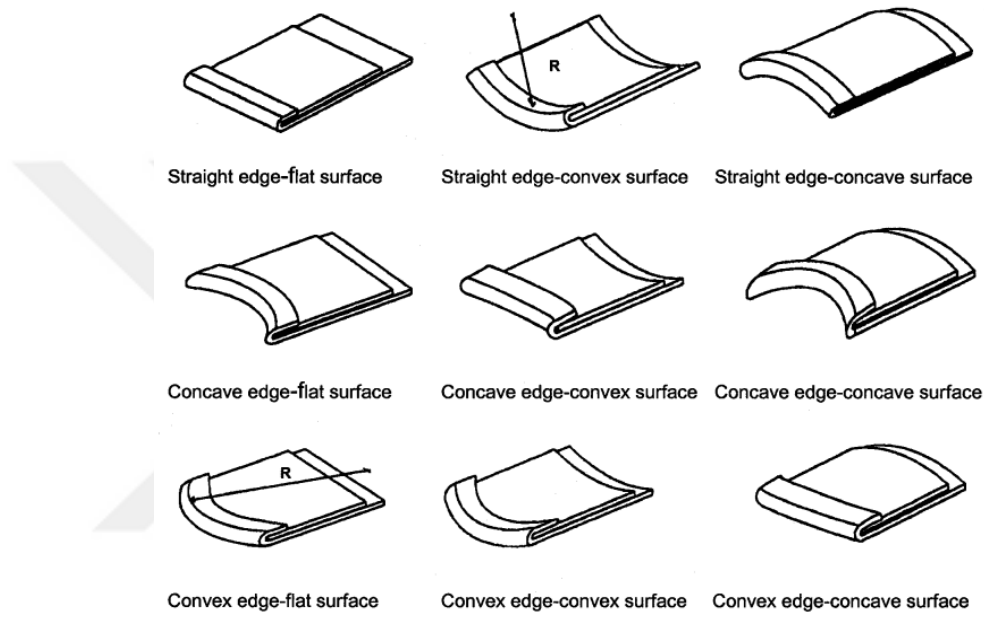
Surface radius ( $R_s$ )	600mm
Initial sheet thickness ( $t$ )	1mm
Edge radius ( $R_e$ )	800mm
Specimen width	75mm
Flanging die radius ( $R_d$ )	2mm
Punch radius ( $R_p$ )	2mm
Flange length ( $L$ )	10mm
Flanging clearance ( $C$ )	$1.2t$
Pre-hemming angle ( $\theta$ )	$45^\circ$
Inner panel offset	3mm
Pad pressure	10MPa

Hemming işlemi otomobil dış panel parçası kenarında oluşan küçük yarıçaplı kenar katlama sorunudur. Bu nedenle, katı elemanlar sorunun tanımlanması ve çözüme ulaştırılması için en uygun seçimdir. İndirgenmiş integrasyon ile 8-düğüm noktalı doğrusal katı elemanlar simülasyonlar oluşturulması için kullanılır. Nihai Hemming sonrası, iç tabaka dış tabaka ile birleşerek kapalı bir montajı oluşturur ve elde edilen esneme analizi için bir yakınsama sağlamaya çalışılır.

Uygulamada, nihai hemming yaylanma analizinde katı elemanlar kullanıldığında sık aralıklarla tekrarlanmıştır. Buna karşılık, 4-düğüm noktalı kabuk elemanlar ile basitleştirilmiş sayısal algoritmayı yakınsamada zorluk ile başa çıkarken çok daha verimli ve sağlamdır.

Otomobil üretim fabrika çalışmalarında esas olarak görülen hemming geometrisine göre dört kategoriye bölünebilir olmalıdır; düz yüzey-düz kenar hemming, düz yüzey-kavisli kenar hemming, eğri yüzey-düz kenar hemming ve kavisli yüzey-kavisli kenar hemming.

Ayrıntılı olarak aşağıdaki tabloda gösterilmiştir[5].

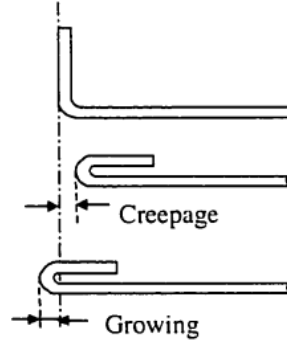


Şekil 3.5: Hemming yüzey yapısı

Hemming sürecinde dış panel üzerinde boyutsal doğruluk ve yüzey kalitesi iki kritik değerdir. Genel otomobil imalatının son aşaması olan hemming yanlış yapıldığında ürün kalitesinde muhakkak sorun yaratacaktır. Şekil 3.6'da gösterilen akma ve büyüme hemming sırasında deformasyona bağlı olan şekil bozulmasına neden olduğu gibi, montaj aşamasında sorunlara neden olur ve montaj kalitesini etkileyebilir.

Küçülme: Panel kenarının hemming sırasında içe doğru hareketi

Büyüme: Panel kenarının hemming sırasında dışarı doğru hareketi

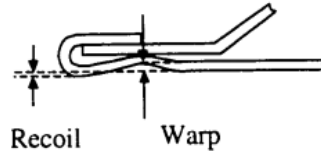


**Şekil 3.6:** Hemming yüzeyinde küçülme ve büyüme

Kenar kıvrırma işleminden sonra ortaya çıkan diğer bir yüzey kusuru geri tepme ve eğriliktir. Geri tepme son hemmingden sonra dış panelde katlama kenarı düzleminin yüzeyindeki deformasyondur. Eğrilik son hemmingden sonra dış panelin dış yüzeyinde oluşan içeri batma diye tanımlanabilir. Bu deformasyonu belirlemek için yöntem, temas alanını boyama ve yüzeydeki değişimleri incelemektir..

Geri tepme: Katlanan yüzeyden aşağı doğru dış panelde geri tepme oluşumu

Eğrilik: Katlanan yüzeyden yukarı doğru eğilme veya dış panelde batma

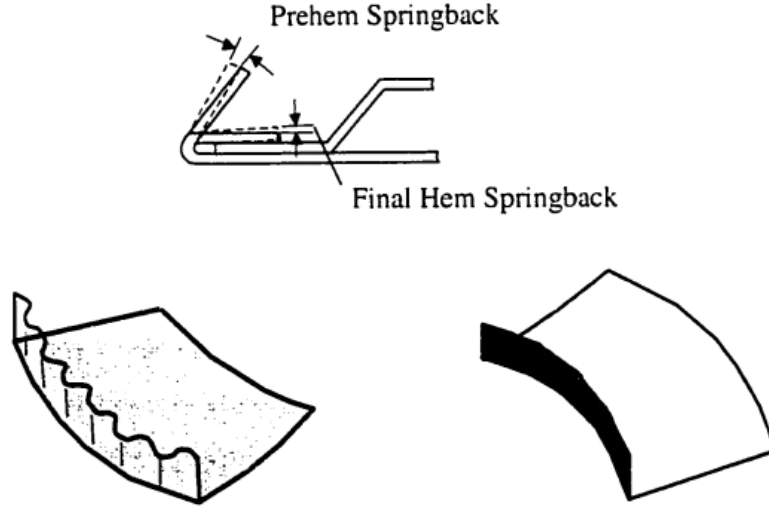


**Şekil 3.7:** Hemming yüzey yapısı geri tepme ve eğrilik

Ayrıca dış panel katlanan kenarları üzerindeki kırışıklıklar ve yırtılma gibi diğer kusurlar flanşlama veya hemming sorunlarına neden olabilir. Geri esneme de, malzeme özelliklerine göre hemming sürecinde diğer kusurlara yol açabilecek yaygın görülen bir sorundur. Ön flanş ve son hemming sonrası flanş kenarında oluşan yaylanma aşağıdaki şekilde göstermiştir.

Pre-hem geri esneme: Ön-hemming sonrası dış paneldeki elastik deformasyon

Final-hem yaylanma: Final Hemming sonrası dış paneldeki elastik deformasyon



Şekil 3.8: Hemming yüzeyinde geri esneme

Düz yüzey-düz kenar hemming ve kavisli hemming arasındaki farklılıklar işlemin yapısını ve iş paneli kenarlarını aşağıdaki şekilde etkiler:

- Eğimli yüzeylerin hemming işlemi sırasında çevresel gerilme görülmektedir. Kritik değeri geçtiği zaman kırışma veya akma görülür.
- Düz yüzey-düz kenar hemming işlemi sırasında deformasyon sadece katlama yapılan köşede görülmüştür.
- Eğimli yüzeylerin hemming işlemi sırasında eğim, malzeme akma ve geri esneme gibi geometrik sorunlar görülebilir. Düz yüzey-düz kenar hemming de bu durum gözlenmez.
- Bu sebepler ışığında, eğimli yüzeylerin hemming işlemi sırasında yüzeyde akma ya da hemming yörüngesi boyunca deformasyonda devamlılık bir sorun haline gelir. Bu nedenle kenar katlama işlemleri esnasında akma deformasyonunu değiştirmek için, hemming işleminin aynı anda ve eşit şekilde flanşlı kenara temas yapması zor görünür. Bu durumda, her enine kesitinde katlanan köşedeki malzeme akışı düzgün olmayan yüzey sorunlarına veya hemming yörüngesi boyunca büyümeye neden olur.

$$\text{Boşaltma kuvveti: } F_{BH} = \frac{SLt}{3}$$

$$\text{Flanş yükü: } F_{FL} = k \frac{SLt^2}{A}$$

(3.2)

S: nihai çekme dayanımı (Pa)

t: sac metal kalınlığı (m)

L: flanş boyu (m)

k: büyük kalıp yarıçapları ve boşluklar için 0.167'den, keskin kalıp yarıçapları ve yüksek plastik işleme gerilmeleri için 0.333'e kadar değişen bir sabit

A: zımba kalıbı yarıçapı, flanş kalıbı yarıçapı ve zımba kalıbı ile flanş kalıbı arasındaki boşluk toplamı

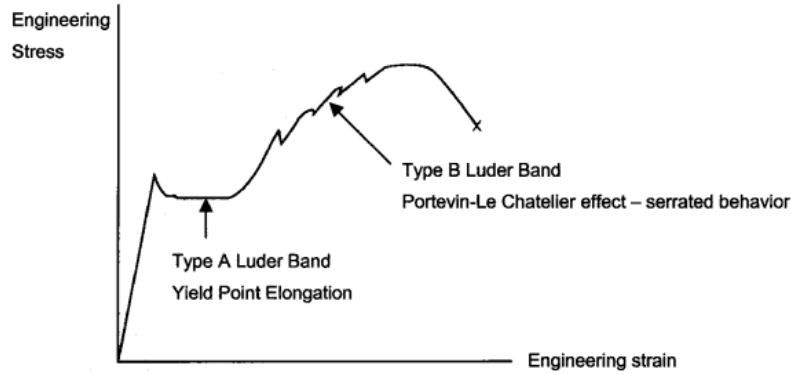
Araştırmacılar, kenar kıvrıma kalitesini artırmak için çeşitli deneysel yollar araştırmıştır. Hishida ve Sato (1986) hemming sürecini yeniden oluşturmak için düzlem-deformasyon sonlu eleman modelini kullanmıştır. Sonuç olarak seçilen malzemenin sertleşme, eğilme yarıçapı, hemming basıncı ve sürtünme değerlerinin hemming son işlem kalitesi üzerinde önemli ölçüde etkileri vardır.. Sunaga ve Makinouchi (1990) sürtünme kuvvetinin hemming kalitesinde önemli bir rol oynadığını göstermiştir. Iwata ve diğerleri (1995), oluşan hemming kusurlarının işlem sonrası dış panelin köşesine yakın oluşan sertleşmeye büyük ölçüde bağlı olduğunu göstermiştir.. Zhang, Wu ve Hu (2001) geri tepme ve yüzey eğriliğinin oluşum nedenlerini incelemiştir. Hemming işlemi sırasında kaliteli yüzeyleri elde etmek için ön flanşlama adımının nasıl yapılacağını göstermektedir. Bir önceki çalışmalarda yapılan bu işlemler hemming süreci için temel bir anlayış sağlamıştır[6].

Bu alandaki mühendislik teorisinden dolayı, altı değişken atanarak ( $k=6$ ) roll-in/roll-out, geri esneme ve hemming yüzeyindeki maksimum gerilme birincil değişkenler belirlenir. Bu değişken değerleri, ilk olarak başlangıç gerilimi  $E_0$ , yüzey ve kenar yarıçapı  $R_s$  ve  $R_e$ , flanş uzunluğu  $L$ , flanşlama kalıp yarıçapı  $R_d$  ve ön hemming açısı  $\theta$  verilmiştir.

Otomobil fabrikalarında şu anda bile halen kullanılmakta olan AKDQ çelik (AISI 1006 / 1008 soğuk haddelenmiş, elektro- galvanizli), A6111 / A51820 alüminyum ve yüksek dayanımlı çeliklerde gövde panellerinin üretimi yapılır. Bu malzemelerin üç tipi vardır: faz dönüşüm kaynaklı plastisite, karmaşık faz ve martenzitiktir.

Otomotiv hemming işlemi uygulamaları, dış panel için özellikle 6XXX serisine ait alaşımlardan yapılır ve iç panel 5XXX serisi alaşımlardan yapılmıştır.

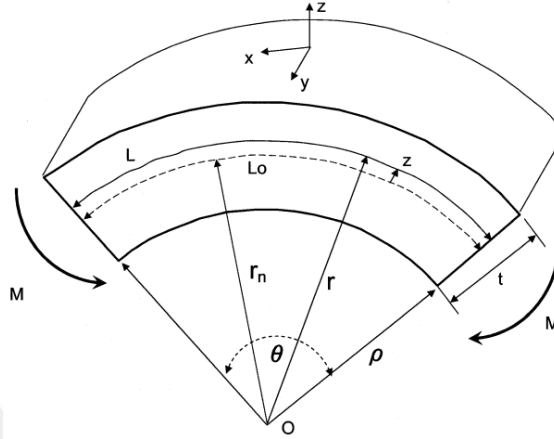
6XXX serisi alüminyum alaşımları ısı yoluyla düzeltilebilir ve hemming sırasında sertleşme dayanımı sayesinde dış panelin kalitesinin arttığı kabul edilir. 5XXX serisi alüminyum alaşımları da ısı yoluyla düzeltilebilir, içeriğindeki alaşımların miktarı arttıkça sertleşme dayanımı sayesinde iç panelin kalitesinin arttığı kabul edilir. Seçilen bu malzeme serilerinin ana avantajı hemming işlemi sırasında dış panel üzerindeki plastik deformasyon yüzey bantları (portakal kabuğu) oluşumunu önlemektir. Bu yüzey bantları mühendislikte Lüder bantları veya yüzey gerilimleri olarak bilinir. Alüminyum alaşımlarda, Lüder bantlarının iki türü vardır: A ve B türü bantlarda akma noktası uzaması (YPE) nedeniyle tavlı veya katı çözümlü bu alaşımlar muhakkak ısıl işlem görmüştür. A türü bantlar, imalattan önce bu alaşımların yaklaşık 150°C'de akma dayanımı karşılaması için ısıtılarak tavlannmıştır. Alaşımların akma dayanımını karşılaması için bazı alaşımlar sertleştirilmek üzere tavlannmış olarak işleme tabi tutulabilir. Bu ise, B türü Lüder bantlarını oluşturur. Lüder bantlarının oluşumu arttıkça dış panel kenarlarında da gerilme görülür[7].



**Şekil 3.9:** Hemming yüzeyinde Lüder bant oluşumu

Gerilme-deformasyon eğrisinde gösterilmiş olan bu dalgalanma, yani Portevin-Le Chatelier etkisi, dış panelde hemming işlemi sonlanana kadar devam eder. Hemming işlemi sırasında ortaya çıkan bu malzeme davranışı dış panel yüzeyindeki portakal kabuğu görünümünün asıl sebebidir.

Dış panelin kenarlarından saf eğilme momentine maruz kalan düzlem bir yüzey olduğu göz önüne alındığında,  $r_n$  nötr ekseninde bulunan eğrilik yarıçapı ve  $z$  nötr ekseninde bulunan bir elemanın radyal mesafesidir.



Şekil 3.10: Hemming işlemi koordinatları

X - Eksenel yön

Y - Enine yön

Z - Radyal yön

Mühendislik gerilimi

$$e_x = (L - L_0)/L_0 = ((r_n + z)\theta - r_n\theta)/(r_n\theta) = z/r_n \quad (3.3)$$

Gerçek gerilim

$$\epsilon_1 = \epsilon_x = \ln(1 + z/r_n) \quad (3.4)$$

Radyal yön değeri,  $z = t/2$  alınarak maksimum çekme gerilmesi hesaplanabilir.

$$\epsilon_{x \max} = (t/2)/r_n = (t/2)/(\rho + t/2) \text{ buradaki } r_n = \rho + t/2 \quad (3.5)$$

$$\epsilon_{x \max} = 1/(2\rho/t + 1)$$

Bükülebilirlik oranı ( $p / t$ ) için hemming yarıçapının oranı azaldıkça, mesh yüzeyindeki gerilme artar ve bu sebeple malzemede çatlak oluşur.

Dış panel üzerinde çatlaklar görülmesine neden olan bu gerilmeleri engellemek için  $\rho_{\min}$  minimum bükülme yarıçapı tanımlanmıştır.

$$\rho_{\min} = (t/2) * ((1/e_f) - 1) \Rightarrow \rho_{\min} = c * t \quad (3.6)$$

Bu değer, seçilmiş olan alüminyum malzemeler için  $1t$  ve  $5t$  aralıkları arasındadır.

İzotropik dış panel hemming deformasyon işlemi olarak tanımlanan mesh adımları boyunca yüzeyde meydana gelen gerilme değerleri şu şekildedir.

$$\begin{aligned} (\epsilon_2 = 0 \text{ olduğu için } \epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 = 0) \\ \epsilon_1 = \ln(1 + z/r_n); \quad \epsilon_2 = 0; \quad \epsilon_3 = -\epsilon_1 \end{aligned} \quad (3.7)$$

Hook yasasına esas alınarak,  $\sigma_3 = 0$ , düzlem eğilme altında stres  $\sigma_2 = (\sigma_1 + \sigma_3) / 2$ :

$$\begin{aligned} \sigma_1 \neq 0 \quad (\text{lif uzunluğu boyunca}) \\ \sigma_2 = \sigma_1/2 \\ \sigma_3 = 0 \quad (\text{kalınlık boyunca}) \end{aligned} \quad (3.8)$$

Von Mises kriterleri için etkin gerilme şu şekildedir.

$$\sigma_{\text{eff}} = ((\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2)^{1/2} / 2^{1/2} \quad (3.9)$$

Von Mises kriterlerine göre, tek eksenel gerilmenin  $Y$  akma gerilmesi olduğu düşünülürse, gerilimde akış stresi gösterilmiştir.

$$\sigma_{\text{eff}} = 3^{1/2} \sigma_1 / 2 = Y \Rightarrow \sigma_1 = 2Y / 3^{1/2} \quad (3.10)$$

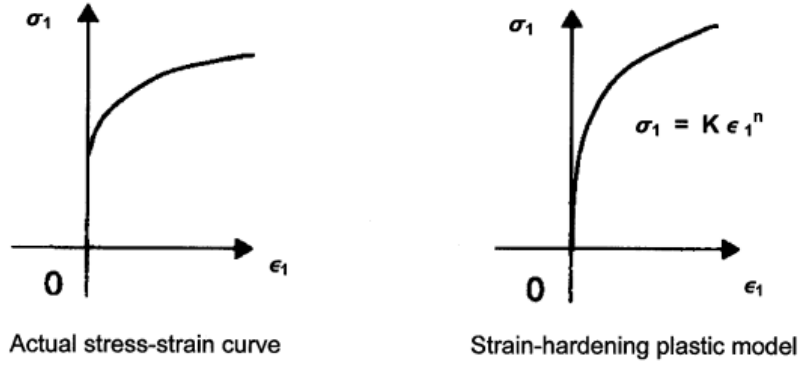
Son olarak etkin gerilim şu şekilde gösterilir.

$$\epsilon_{\text{eff}} = ((2/3) (\epsilon_1^2 + \epsilon_2^2 + \epsilon_3^2))^{1/2} \Rightarrow \epsilon_{\text{eff}} = 2\epsilon_1 / 3^{1/2} \quad (3.11)$$

Alümiyum malzemenin plastik davranışını gösteren doğrusal ve doğrusal olmayan elastik gerilim değerleridir. Bu davranış, mühendislik matematiğinde Hollomon-Ludwick kuvvet kanunu ile belirtilmiştir.

$$\sigma_{\text{eff}} = K \epsilon_{\text{eff}}^n \quad (3.12)$$

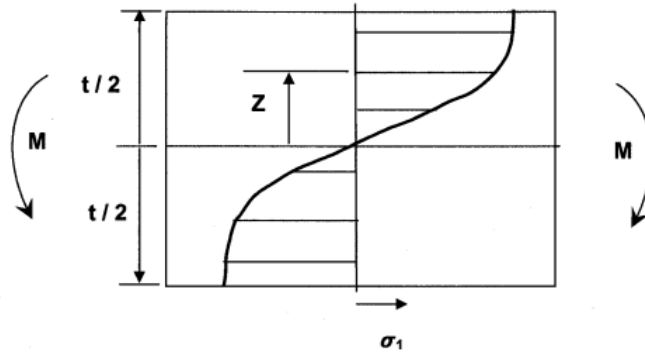
K katsayısı ve n pekleşme üssü değerlerini kullanarak kuvveti bulmak için, K daha yüksek bir değer, daha yüksek bir verime karşılık gelir ya da malzeme mukavemeti artar. Sertleşme üssü n malzemenin gerilme dayanımının bir göstergesidir.



Şekil 3.11: Malzeme için Hollomon-Ludwick kuvvet kanunu

Yaklaşık eğilme gerilimi şu şekilde tanımlanır.

$$\epsilon_1 = \epsilon_x = \ln(1 + z/r_n) = z/r_n \quad (3.13)$$



Şekil 3.12: gerilme için Hollomon-Ludwick kuvvet kanunu

Şekilde anlatılmak istenen Hollomon-Ludwick kuvvet kanunu denklemi kullanılarak oluşturulmuş stres dağılımının ifadesidir. Numunenin tamamının plastik bir şekilde deforme olduğu varsayılarak, nötr ekseninde bulunan z mesafesindeki gerilim değerleri denklemler ile birleştirilerek elde edilebilir.

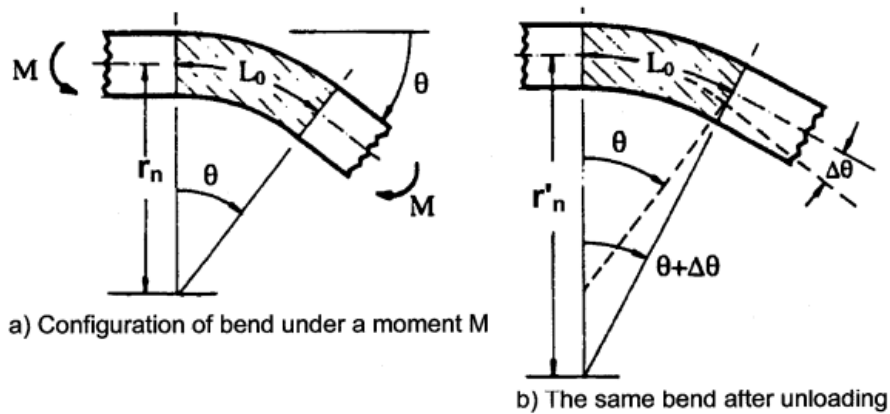
$$\sigma_{\text{eff}} = 3^{(1/2)} \sigma_1 / 2 \quad \epsilon_{\text{eff}} = 2\epsilon_1 / 3^{(1/2)} \quad \sigma_{\text{eff}} = K \epsilon_{\text{eff}}^n \quad (3.14)$$

$$\sigma_1 = K (2/3^{1/2})^{n+1} (z/r_n)^n \quad (3.15)$$

Sonra ise aşağıda gördüğümüz denge denklemi bulunur.

$$M = \int_{-t/2}^{t/2} w \sigma_1 dz = (2/(2+n)) (w/r_n) (K (2/3^{1/2})^{n+1} (t/2)^{2+n}) \quad (3.16)$$

Seçilen alüminyum alaşımdan yük kaldırıldığında elastikiyet sınırı bulunduğu için, yük elastik geri esnemeye uğrayarak, plastik deformasyonu oluşturur. Daha öncede bahsedildiği üzere bu iş parçası üzerinde oluşan geri esneme oranı.



Şekil 3.13: Geri esneme açısı ve oranı

Geri esneme elastik bölgede meydana geldiği için, gerilme ve stres değerlerinin bilinmesi yoluyla bulunur.

$$\Delta\epsilon = z/r_n - z/r'_n \quad (3.17)$$

$$\Delta\sigma = ((E/(1 - \nu^2)))\Delta\epsilon$$

$r_n$  geri esnemenen sonra ortaya çıkan değişimdir.

$$\Delta M = \int_{-t/2}^{t/2} w \Delta\sigma dz z = ((wt^3 E)/12(1 - \nu^2))(1/r_n - 1/r'_n) \quad (3.18)$$

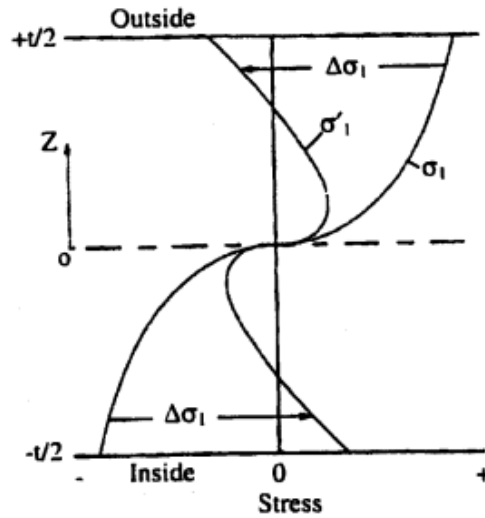
Geri esneme değeri  $M - \Delta M = 0$  olduğundan oluşan denklem şu şekildedir.

$$(1/r_n - 1/r'_n) = (6/(2 + n))(t/2r_n)^n (1/t)(K(4/3)^{(n+1)/2})((1 - \nu^2)/E) \quad (3.19)$$

Artık gerilme değeri

$$\sigma'_1 = (K(4/3)^{(n+1)/2})(z/r_n)^n [1 - (3/(2 + n))(2z/t)^{1-n}] \quad (3.20)$$

$\sigma_1$ ,  $\Delta\sigma$  ve  $\sigma'_1$  değişimi ise aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.

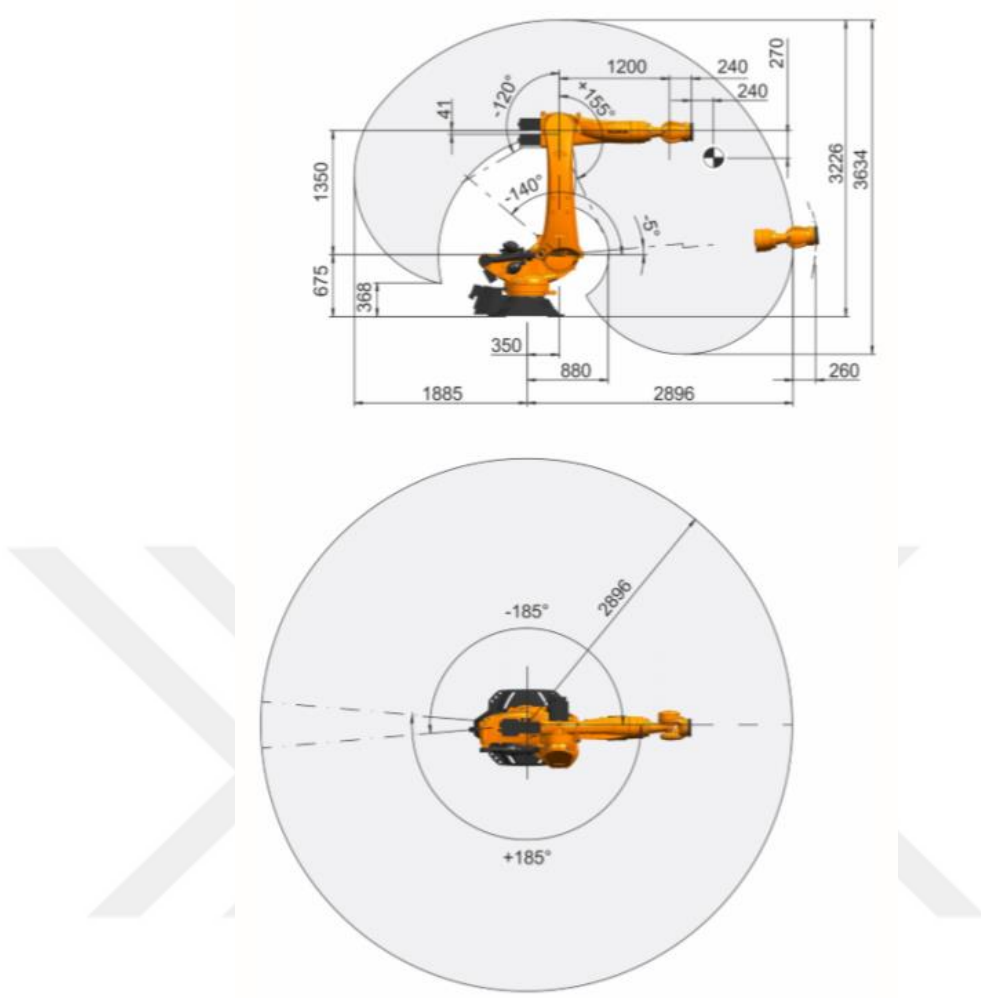


Şekil 3.14: Ağır yüklerde bükme işleminde gerilim değerleri

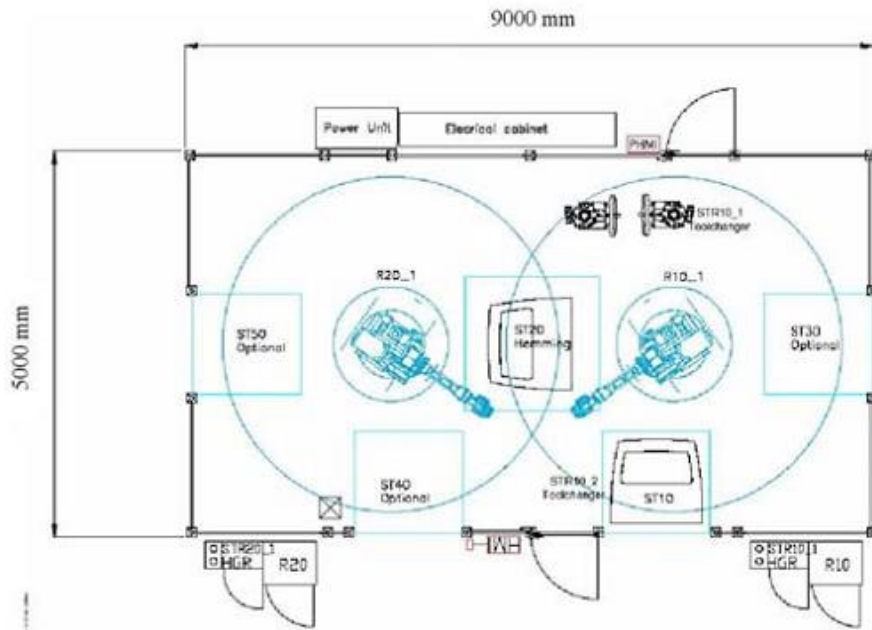
Silindir hemming ile ilgili mekanik deformasyonu dış panel üzerinde oluşturmak için bir robot kolunun ağız kısmında bağlı bir silindir kafa kullanılır. Kullanılan geleneksel hemming operasyonlarından farklıdır. Silindir hemming işlemi için sadece basit bir kalıp fikstürü ve esnek üretime imkan veren bir robot kol gereklidir. Robot istenilen yörüngede programlanabilir bir takip silindiri ile iç ve dış panel gövde parçalarını birleştirmek için hemming işlemini yapar[8].



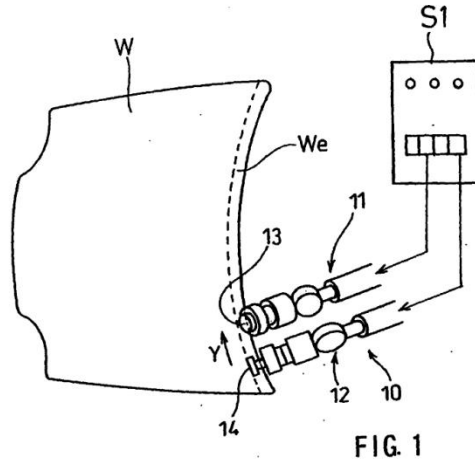
**Şekil 3.15:** Robotik silindir hemming görünüşü



Şekil 3.16: KUKA hemming robot ayrıntıları (<https://www.kuka.com/tr-tr>)



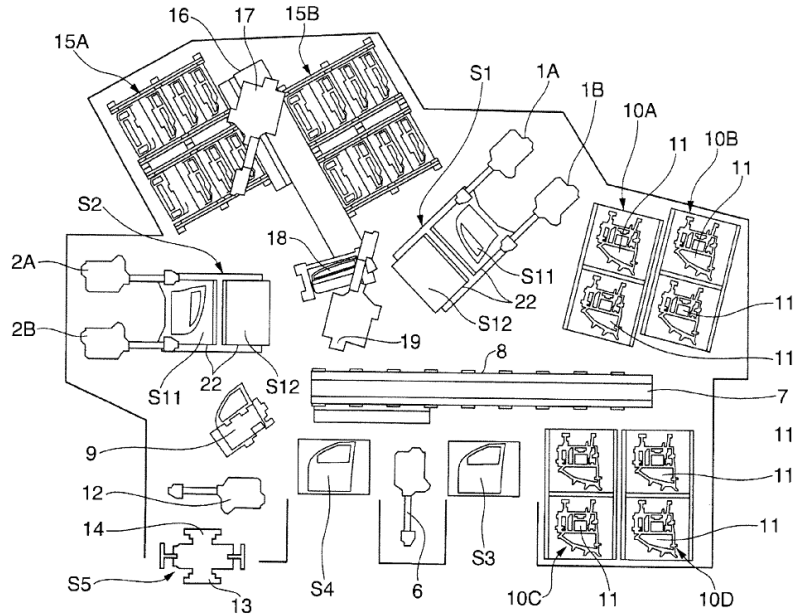
Şekil 3.17: Robot çifti kullanımı [9]



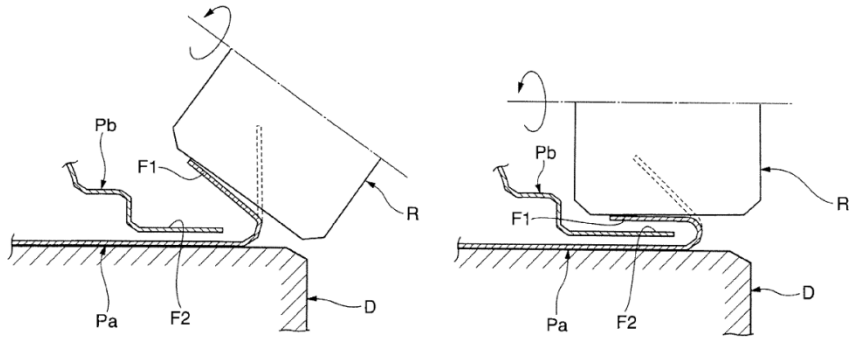
Şekil 3.18: Aynı yörüngede robot çifti kullanımı

Yukarıdaki şekilde bir ön hemming silindiri ve bir final hemming silindirinin aynı paralel yörüngede çalışarak bir dış panel ve bir iç paneli birleştirmesi gösterilmiştir[10].

Şekilde düzenlenmiş bir silindir kenar kıvrıma işlemini göstermektedir. Gövde montaj hattının genel bir görünüşü şematik olarak verilmiştir.



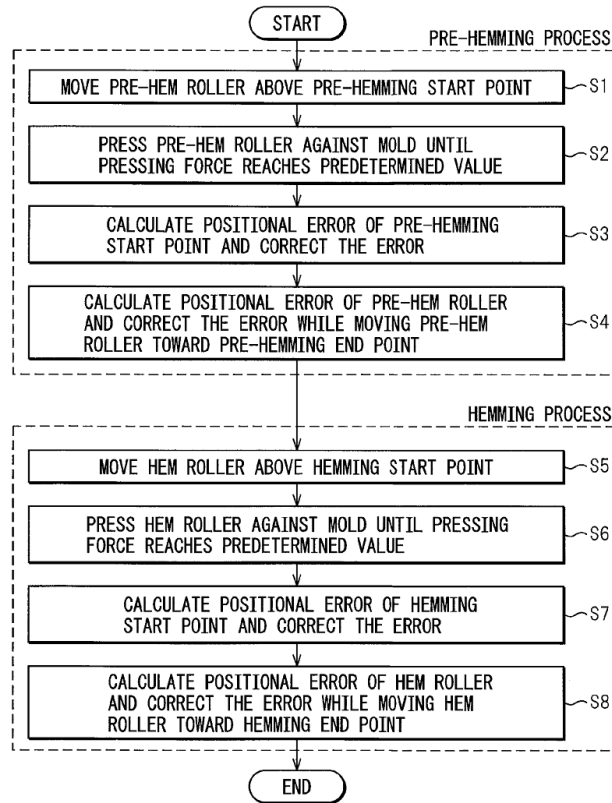
Şekil 3.19: Robot montaj hattı



Şekil 3.20: Ön hemming ve final hemming

Hemming yüzey kalitesi veya hemming işleminin gövde dış panelindeki etkisi, robot manipülatörün konumsal doğruluğuna bağlıdır[11].

Şekil 3.21 silindir kenar katlama robotu kullanılarak gerçekleştirilen hemming işleminin operasyon adımlarını gösteren akış şemasıdır. Silindir hemming işlemini gövde panellerine uygulamadan önce, aşağıdaki hazırlıklar yapılmalıdır.



Şekil 3.21: Robotik silindir hemming akış şeması[12]

Hemming operasyon sıralamasında son adımı oluşturan bir işlem olduğundan, işlem sırasında oluşan kusurlar sonraki işlemlerde düzeltilemez ve son ürün kalitesini bozabilir[13].

Robot silindir hemming dairesel deformasyon yükü ile ileri ve geri hareket ederek, değişik yüzey yapısına sahip otomobil gövdelerini birleştiren şekillendirme süreci olarak da tanımlanır.

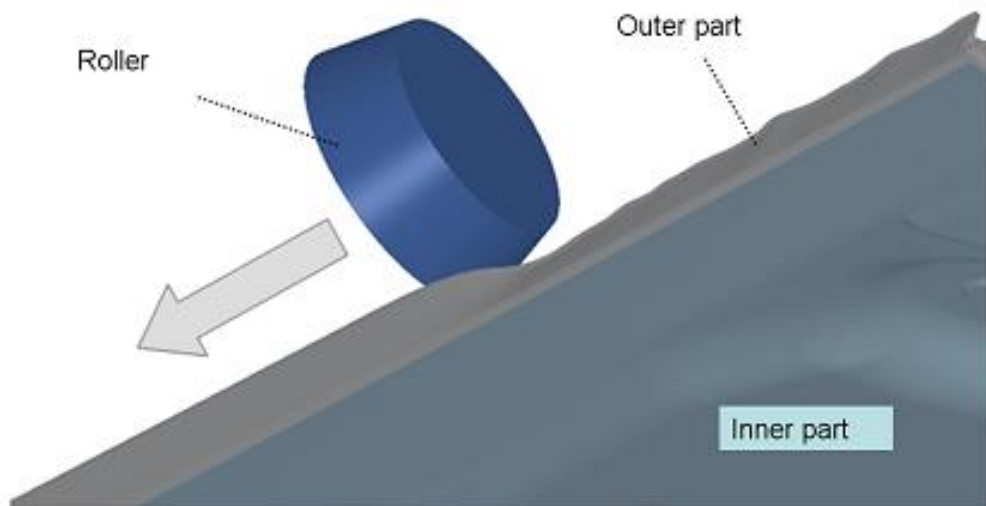
Verim kriteri  $f = \bar{\sigma} - (\sigma_0 + R) \leq 0$  elastik alanı tanımlar, burada  $\sigma_0$  ilk akma gerilmesi ve  $\sigma$  etkili bir stres olur. İzotrop sertleşme parçası  $R$  tarafından tanımlanan Voce kuralı uygulanır.

$$R(\bar{\epsilon}_p) = Q[1 - \exp(-b\bar{\epsilon}_p)] \quad (3.21)$$

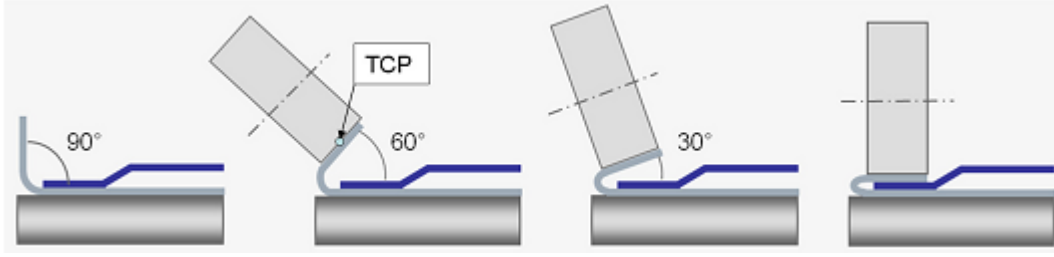
$\epsilon_p$  birikmiş etkili plastik gerilme ve  $\sigma$  ve  $b$  malzeme parametreleridir. Doğrusal olmayan kinematik sertleşme parçası  $\alpha_{ij}$  Armstrong ve Frederik'in modeline dayanmaktadır.

$$d\alpha_{ij} = C \frac{1}{\sigma_0 + R} (\sigma_{ij} - \alpha_{ij}) d\bar{\epsilon} - \gamma \alpha_{ij} d\bar{\epsilon} \quad (3.22)$$

Ayrıca  $\gamma$  de malzeme parametresidir[14].



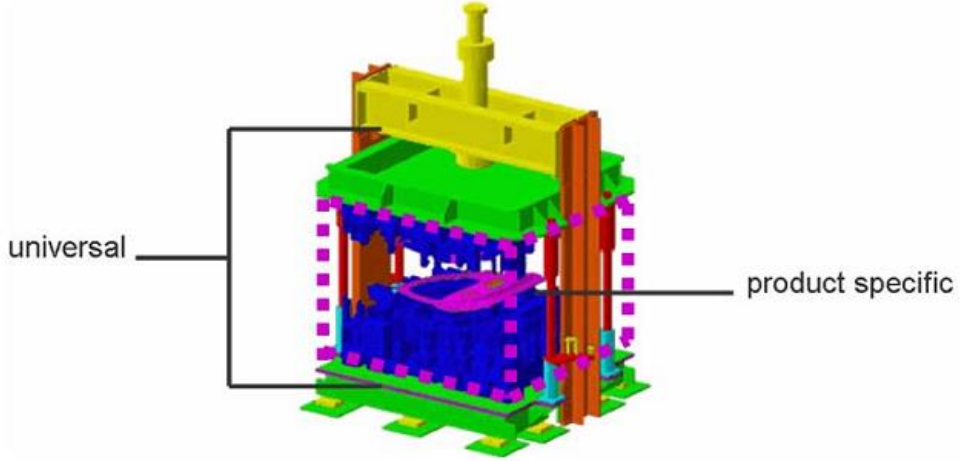
Şekil 3.22: Robotik silindir hemming işlem görünümü



Şekil 3.23: Farklı açılar için robotik silindir hemming adımları[15]

- Kalıp Hemming

Pres yardımıyla dış panelin kenarının katlanmasına kalıp hemming denir. Kenar katlama işleminin muhtemel en eski yoludur.



Şekil 3.24: Kalıp hemming presi(clinch)

Hemming adımlarını bir ön hemming ve bir final hemming adımı ile tanımlayabiliriz. Bu sürecin hareket yönü dikeydir. Gövde dış panel kenarında, her iki ön ve final hemming adımı da dikey gerçekleştirilir.

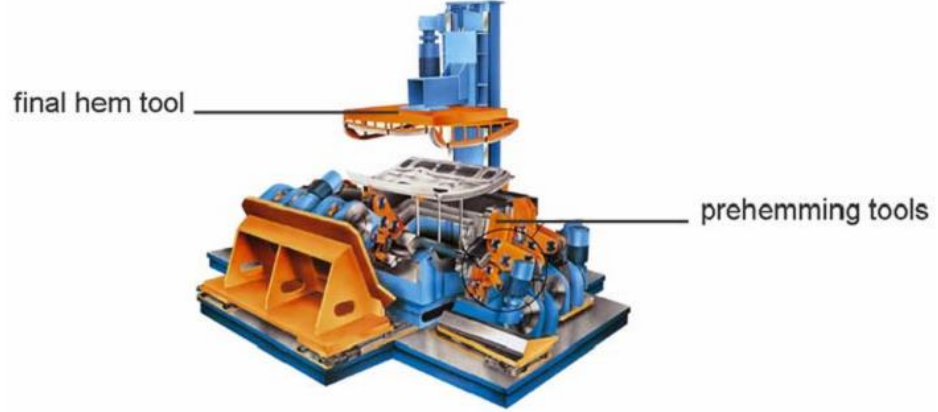


Şekil 3.25: Kalıp hemming presi yörüngesi

Hemming işlemi çok fazla bekleme süresine ihtiyaç duymaz. Kalıp hemming fiyestürleri bu nedenle çok yüksek hacimli üretim için uygundur.

- Masaüstü Hemming

Çok kapsamlı hemming fikstürleri kullanılan masaüstü sistemlerdir. Ön hemming araçları ile ürün yan fikstürden (yatay) katlanır. Son hemming işlemi ise dikey olarak yapılır.



Şekil 3.26: Masaüstü hemming presi



Şekil 3.27: Masaüstü hemming presi yörüngesi

- Robotik Silindir Hemming

Bir robot, flanş yüzeyini yörüngesi kabul ederek üzerinde bağlı olan silindire kılavuzluk eder.



Şekil 3.28: Robotik silindir hemming ve yörüngesi

Düşük ve orta hacimli üretim için robotik silindir hemming uygulama kısıtlamaları diğer hemming sistemlerine göre daha azdır.

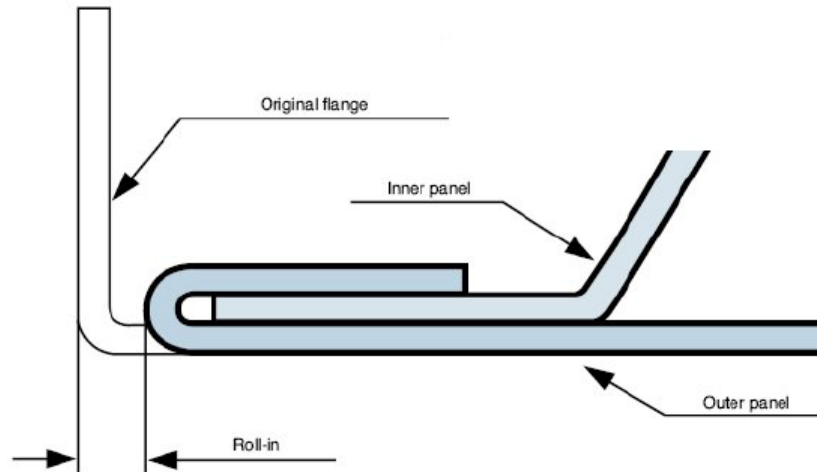
	Main hemming process types		
	Die	Tabletop	Robot Roller
<b>Timing &amp; Costs</b>			
Investment costs	-	--	+
Process times	+	+	±
<b>Technical Info</b>			
Product geometry capabilities	-	+	+
Multiple product capabilities	±	--	++
<b>Quality info</b>			
Roll-in of the hem	0,4 ~ 0,6 mm	0,7 ~ 0,8 mm	0,0 ~ 0,2 mm

Şekil 3.29: Temel prosesleri karşılaştırma

Genel olarak kabuk elemanların dış panelin hesaplanmasında daha verimli olduğu görülmüştür. Bu işlem sırasında genellikle kapalı analizler tercih edilmiştir[16].

### 3.1.2. Hemming Süreci ve Ortaya Çıkan Deformasyonlar

Bugün otomotiv sektöründe genel eğilim, gövde parçaları arasındaki boşlukları azaltmaktır, bu nedenle robotik silindir hemming için tahmin ve kontrol edilebilirlik çok önemlidir.



Şekil 3.30: Hemming(kenar katlama) işlem yapısı

İlk resimde bir dış panelin kenarları gösterilmektedir. Uç kısmındaki kritik noktalar sebebiyle kenar katlama işleminde sorunlara neden olabilir. Bu hesaplanarak, uygun şekilde ürünü elde etmemiz gerekir.

Sağdaki resimde ise, katlama işlemi gerçekleşmiş iş parçasında meydana gelen deformasyon gösterilmiştir. Kırılma veya katlamadan kaynaklı büzölmeler ileri derecede olabilir.



**Şekil 3.31:** Dış panel detayı ve kenar deformasyonu

Kenar kısımlarda olduğu gibi gövdenin düz olmayan köşelerinde de deformasyonlar oluşabilir. Aşağıdaki resimde kenar katlama işlemi ile oluşan gövdenin bir köşesinde meydana gelen deformasyon gösterilmiştir. Preste kenar katlamasının tam olarak gerçekleşmediğini gösterir, yani pres basıncı ya da kenet plakalarının tam olarak işlevini göstermemesi sebebiyle ortaya çıkar.



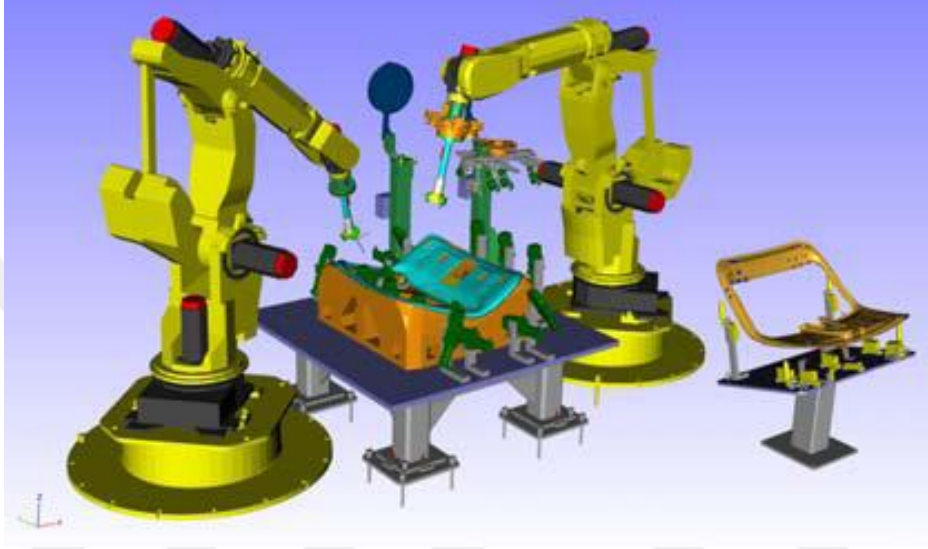
**Şekil 3.32:** Köşe deformasyonu

Ayrıca recoil, warp ve springback tipi deformasyonların otomobil montajında ön ve arka kapılar arasında meydana getirdiği boşlukların önlenmesi gerekmektedir.

## 3.2. BULANIK MANTIK İLKELERİ İLE OTOMOBİL KAPI İMALATI

### 3.1.1. Bulanık Mantık Sistem Tasarımı

Aşağıda üç eksenli robot kolunun ve üç eksen tarafından açılabilir olarak ayarlanan silindirin iş parçası üzerindeki konumu gösterilmektedir.



Şekil 3.33: Robotik silindir hemming hattı

Uygulama, otomotiv endüstrisinin tedarikçisi olan sac iş parçalarından çeşitli ürünler üreten bir işletmede yapılmıştır. Uygulama için çalışma yapılacak ürünün farklı boyutlarda ve kullanım yerine göre otomobil kapıları olması kararlaştırılmıştır.

Üretimde karşılaşılan problem, otomobil kapılarının kenar katlama işlemi sırasında katlanan kenarlarda meydana gelen deformasyonlar ele alınmıştır.

### 3.1.2. İmalat Sürecinde Bulanık Mantık Kullanımı

6022-T4E32 malzemesine göre bulanık mantık çıkarımları yapılmıştır.

Üretimi yapılan bir otomobil gövdesinin dış panelinde oluşan deformasyonları ve ürün kalitesini iyileştirmek için bulanık mantık kullanıldı. Ortaya çıkan ürünün kalitesi kullanılan iş parçasının malzemesi ve tercih edilen üretim hattının doğru konumlandırılmasına bağlıdır.

Gövde dış panelin iç panele kapatılması sonucu oluşan kenar kıvrırma işlemi için olası bir kalite evreni oluşturuldu. Bu kalite evreni en üst düzeyden en düşüğe doğru 6 sayısal çekme dayanımı değerinden meydana geldi.

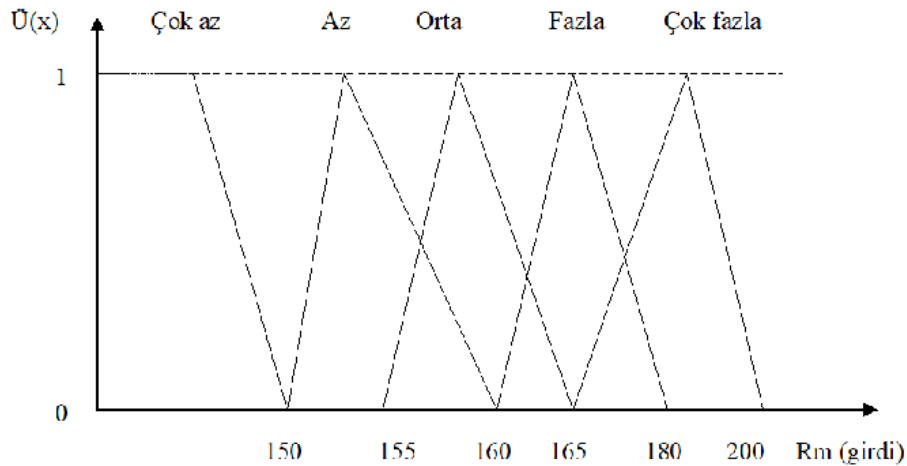
Aynı şekilde, diğer bir değişken olan akma dayanımı için oluşturulan kalite evreninde yine üst düzeyden en düşüğe doğru sıralandı. Akma dayanımı için de 6 sayısal değerden meydana geldi.

Burada ‘dış panelin daha iyi hemming kalite düzeyinin ortalamasının üzerinde olduğu’ önermesi ortaya çıkar. Aşağıda gösterilen iki deformasyon dikkate alınarak oluşturulmuş bir bulanık küme diyagramıdır.

Akma dayanımı ile çekme dayanımının altındaki ve üstündeki değerler için, robotik silindir hemming işleminde ortaya çıkan gerilme-genleme değerleri ile geri esneme oranlarının en iyi düzeyde bulunması istenmektedir.

Girdiler;

Akma dayanımı için bulanık küme diyagramı



$$A.D = \{0.75/150 + 0.775/155 + 0.8/160 + 0.825/165 + 0.9/180 + 1.0/200\}$$

Çekme dayanımı için bulanık küme diyagramı (çok yüksek, yüksek, orta, düşük, çok düşük)

Çıktılar;

- 1- Akma dayanımı için bulanık küme diyagramı (ürün iptal, dur, durabilir, devam et)
- 2- Çekme dayanımı için bulanık küme diyagramı (ürün iptal, dur, durabilir, devam et)

Bu verilere uygun sistem senaryoları oluşturuldu ve meydana gelen deformatsyonları önleyici yukarıda bulunan çıktı parametreleri göz önüne alındı. Buna göre IDEF0 aktivite diyagramları oluşturuldu. Bu diyagramlarda dikkate alınması gerekenler şu şekildedir.

Girdi değişkenleri kabul edilebilir malzeme ve tasarım önermelerinden oluşturuldu. Burada oluşturmak için neleri kullanırım sorusuna cevap arandı.

Girdi değişkenlerini kabul ettikten sonra, çeşitli standartlar, gereksinimler ve planlar dahilinde bu değişkenlerin doğruluğuna nereden bakarım sorusuna cevap arandı.

Bu belirli standartlara uygun değişkenleri insan gücü, alet veya hangi makinaları kullanarak gerçekleştirebilirim sorusuna cevap verildi

Bütün bu iş oluşturma adımları sonucunda ortaya çıkan sonuçların ihtiyacımızı karşılayıp karşılayamaması belirlendi. |

#### 4. BULGULAR

Robot silindir kenar katlama işlemi, otomotiv endüstrisinde kullanılan fabrika üretim hattına uyarlanabilen bir şekillendirme işlemidir. Genel olarak, otomobil gövde imalatında tercih edilen bu işlemde robotik sistem yapısı ile klasik kenetleme ve hemming işleminden daha hassas işlem yüzeyleri elde edildi. Eğimli yüzey kalitesine sahip otomobil kapıları ve kaportasında tercih ettiğimiz malzemeler işlem sonrasında kırışıklık ve geri esneme gibi deformasyonlar oluşturacağı için bu yapı tercih edildi. Klasik yöntemlerde kullanılan kalıp ve taşıma robotu yerine burada tek bir robot kolu ile işlem sürecinde azalmaya gidildi

Yapılan bu çalışmada amaç, tek bir robota bağlı robot kolu ile hemming, mastik ve lazer kürtleme işleminin adımlarının birbirini takip eden ve tamamlayıcı bir şekilde ilerlediğini göstermektir. Bu tamamlayıcı adımları gerçekleştirebilmek için işlem kalitesini de etkileyen bazı parametrelerin belirlenmesi gerekir. Robot kolunun yerleşiminin iş parçası üzerindeki etkileri sayısal olarak analiz edilerek, en uygun işlem parametreleri belirlendi.

Burada ayrıca, iç ve dış panelin ölçüleri ve malzeme yapısı kadar kullanılan gövde bağlantı parçaları da önemlidir.

Hemming işlemi sırasında montajı yapılan iç ve dış panele bir etkisi bulunmasa da kullanılan bağlantı parçaları yerleşimi doğru yapılmaz ise, her iki panel içinde boyutsal ve düzlemsel yüzey kontrol aşamalarında sorunlara yol açmaktadır.

Bu bağlantı parçalarında, kullanılan malzemeler ve ölçüleri aşağıda gösterilmiştir. Burada firmanın kullanmak üzere sipariş ettiği ham sac ölçüleri verildi.

7114 kalite sac (1200x2400x1.00mm)

1314(DIN EN 10327) çinko kaplı galvaniz rulo (0.7x1200xR)

6112(DIN EN 10130) Erdemir sac rulo (1.5x1250xR)

6222(DIN EN 10111) Erdemir sac rulo (4x1200xR)

WS20 702 kaynak somunu (M6xS300)

WS20 721 kaynak somunu (M8xLB60369)

Fabrikanın oluşturmuş olduğu üretim hattında klasik masa üstü hemming işlemi dahil olmak üzere kullanılan makine verileri şu şekildedir.

Punta kaynak ve metal finiş kaynak için gazaltı kaynağı

Parça taşıma ve clinch fikstürüne yerleşimi sağlayan robot kollar

Sealing panel dolgu malzeme tabancası

Çoşkunöz H2-180 masa üstü (2500x2400) 180 tonluk clinch presi

Sıcak kütleme makinası

Analiz işlemleri öncesinde, ilk olarak işlem deformasyonlarını önlemek için en uygun malzeme seçilmeye çalışıldı. Bu seçilen değişken yapılı malzemeler aşağıdaki gibi malzeme ölçüleri ve ürün özelliklerine göre belirlendi.

Bu malzemeler, daha önce yapılan çalışmalarda belirlenen genel ölçüleri içermektedir. Analiz aşamasında ise üretici tarafından belirlenen esas sac kalınlığı ölçüsünde işlemler yapılmıştır.

6061-T6 (E: 66.6 GPa,  $\nu$ : 0.33)

AA6014

HX180BD (dış panel malzeme)

DX56D ( iç panel malzeme)

6022-T4 (2mm kalınlık için)

6022-T43 (0.9mm kalınlık için)

6022-T4E32 (1mm kalınlık için)

6016-T4 (1.2mm kalınlık için)

FEE220BH (0.7mm için) ( $\rho$ :7850kg/m<sup>3</sup>, E: 170GPa,  $\nu$ : 0.28,  $\sigma$ : 541.6  $\epsilon$ <sup>0.185</sup>)

AA6111-T4

DC06

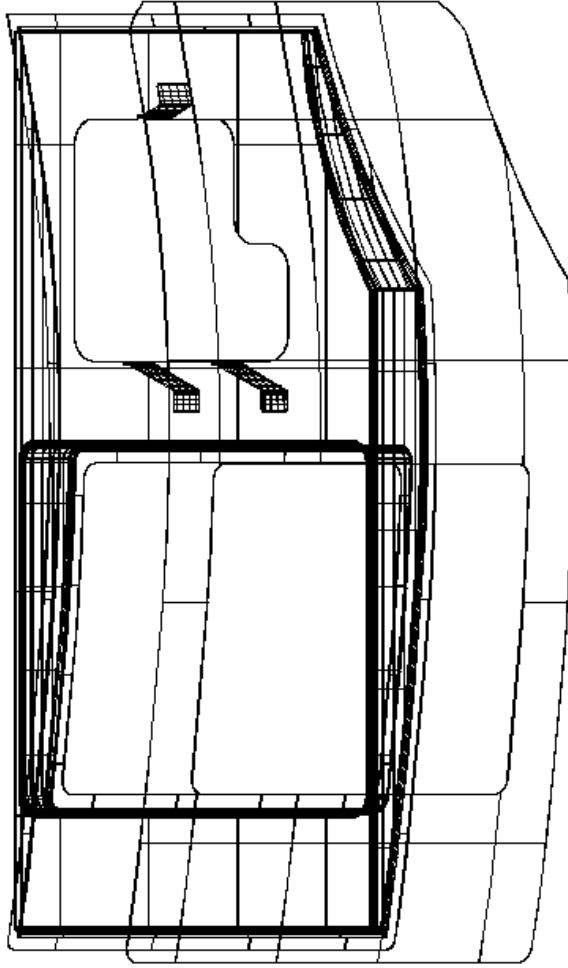
ZStE220P

ZStE260

Bu malzemelerin her biri için LS-Dyna ve Ls-Prepost analiz yazılımında gövde panellerinin bir bölümü için değil, düz yüzey-düzgün kenar hemming formunda denemeler yapıldı. Bu yazılımların kullanılmasındaki amaç daha önce yapılan çalışmaların bu yönde olmasıdır. Dayanım açısından en uyumlu olan 6022-T4E32 malzemesi bulundu ve uygulama büyük ölçekte bu malzeme ile gerçekleşti.

Genel olarak daha önce belirlenen malzeme ve iş parçası ölçülerini referans alarak daha iyi ürün kalitesi ve operasyon yüzeyinde daha az deformasyona göre malzemeler yeniden robotik silindir hemming işlemine de uyarlanmıştır.

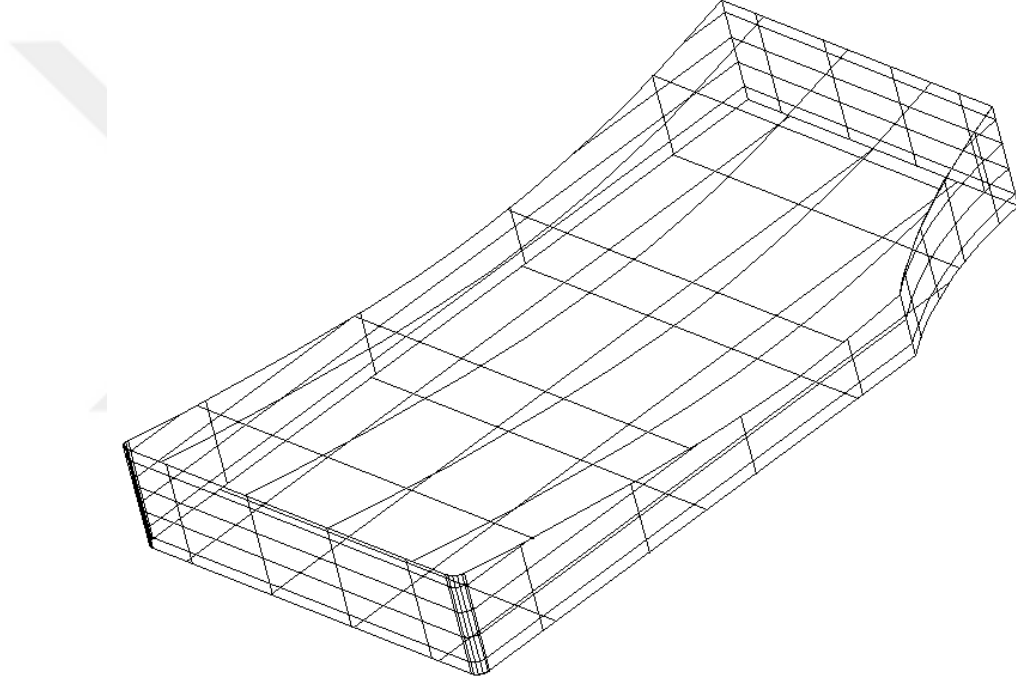
Kullanılan sol kayar kapı üretimi sırasında dikkat etmemiz gereken tüm önemli malzeme ve makine kullanımı ile ilgili parametreler belirtildi.



Şekil 3.34: Otomobil kapı iç ve dış panel

Bu işlemlerin tümü, Ford v227 modelindeki kısa sol kayar kapı iş parçası üzerinde gösterildi. SWB model sol kayar kapının bitmiş ürün ölçüleri L değeri 1040mm ve birleştirilmiş araba gövde modeli düşünüldüğünde, kapı gövde iskeletinin boşluğu G değeri 606mm'dir. G değeri sol kayar kapının genişliği olarak da düşünülebilir.

Robotik silindir hemming işlemi için, düzgün bir dış panel yüzey kalitesi oluşturmak birincil hedef olarak belirlendi. Yaptığımız işlem iş parçalarının kenar yüzeyini etkiliyor olsa da, işlem için iyi bir fikstüre ihtiyaç duyarız. Burada hemming işlemi için iş parçasını üzerine yerleştirdiğimiz bir kalıp fikstürü oluşturuldu.



**Şekil 3.35:** Robotik silindir hemming işlemi için kalıp fikstürü

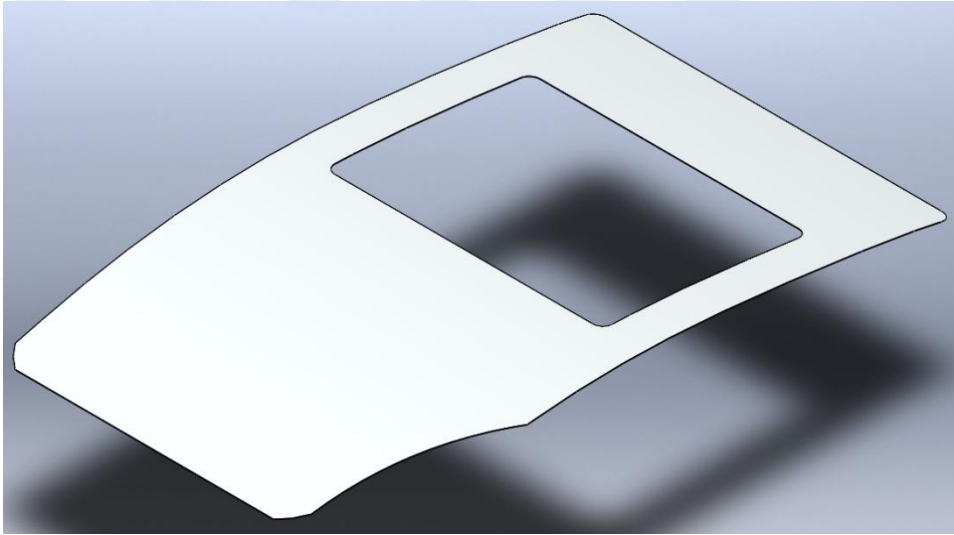
Yukarıdaki şekilde gösterilen kalıp fikstürü, geleneksel fikstür ve fikstür çenelerinden bağımsız olarak tasarlandı. Gövde modeline uygun olarak aynı şekildedir. Kalıp fikstürünün alt kısmında bulunan kenar kavisleri bulunmaktadır. Bunun sebebi ise, hemming işlemi sırasında en fazla deformasyonun bu bölgede görülmesidir.

Kalıp fikstürünün ölçüleri, gövde dış panelinden daha küçük olmak zorundadır. Dış panel kenarlarında roller robotun yörüngesi boyunca ilerleyebilmesi için buna ihtiyaç vardır. Diğer bir deyişle, kalıp fikstürü ve robot silindir makarasının temasını önlemek gerekir. Bu şekilde

yapılmaz ise, hem dış panelde deformasyon oluşur, hem de robot silindirin yüzeyine zarar vermiş oluruz.

Dış panelin ölçüleri esas alınarak, katlama sırasında oluşacak flanş boyunun iki katı mesafe içeride yapılır. Kalıp fikstürü ve dış panel arasındaki bu temassız yüzeye kalıba bağlanan fikstür çeneleri gelecektir. Bu şekilde, kullanılan kalıp fikstürü ile robot silindir yüzeyinde vuruk olmaz ve iş parçası üzerindeki deformasyonlar da olumlu yönde etkilenir.

Kalıp fikstüründen sonra, robotik silindir hemming sürecini belirleyen en önemli faktör olan dış panel incelendi. Gövde dış paneli işlem sırasında ve sonrasında en fazla deformasyonun görüldüğü kısımdır.



**Şekil 3.36:** Dış panel Solidworks çizimi

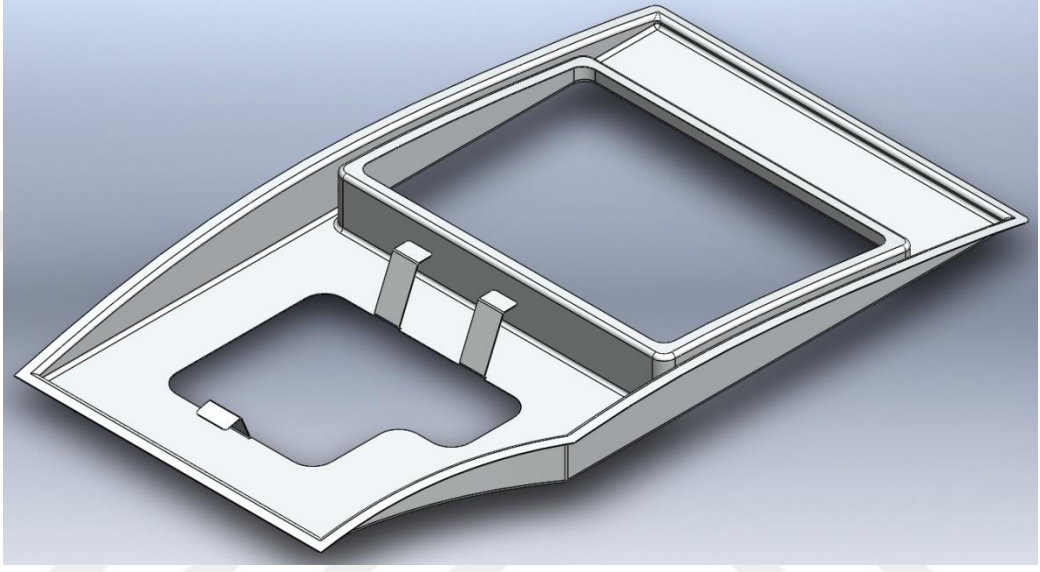
Dış panel görünüşü olarak düz yüzey-düz kenar, eğimli yüzey-düz kenar ve eğimli yüzey-eğimli kenar yapısına sahiptir. Yapılan çalışmada bu yüzeylerin deformasyonu incelendi.

Dış panelin hemming işlemini gerçekleştirmesini sağlayan diğer bir iş parçası iç paneldir. İç panel, otomobil kapısının iskeletini oluşturan önemli bir etmendir. Dış panele nazaran daha ayrıntılı görünüş yapısı bulunmaktadır.

İç panelde dış paneli destekleyici kayıtlar ve camlı kısmı oluşturan ayrıntılar bulunmaktadır. Boyutsal olarak, dış panelin kenarları üzerine katlanarak hemming işlemini oluşturduğu için

daha küçüktür. Dış panel flanş boyu ve dış panel sac kalınlığının 2 katı toplamı mesafe kadar içeriden boyulandırıldı.

Dış panelde olduğu gibi, düz yüzey-düz kenar, eğimli yüzey-düz kenar ve eğimli yüzey-eğimli kenar yapısına sahiptir.



**Şekil 3.37:** İç panel Solidworks çizimi

Bu görünüşlerin tümü Solidworks yazılımında oluşturuldu ve üretici firma talebi ile detaylı ölçülere değinilmedi. Bu çizimler daha sonra, analiz yazılımlarında kullanılmak üzere yapıldı.

İlk olarak LS-Dyna ve LS-Prepost yazılımında analizleri yapıldı. LS-Dyna yazılımında malzeme yapısı, düğüm noktası ve eleman seçiminde işlemin yüzeysel doğruluğuna güvenilmediği için kapsamlı bir deneysel sonuçlar elde edilemedi.

İkinci olarak, basma, damgalama ve hemming işlemi için yazılım içerisinde analiz imkanı sunan parametrelerin bulunduğu LS-Prepost tercih edildi.

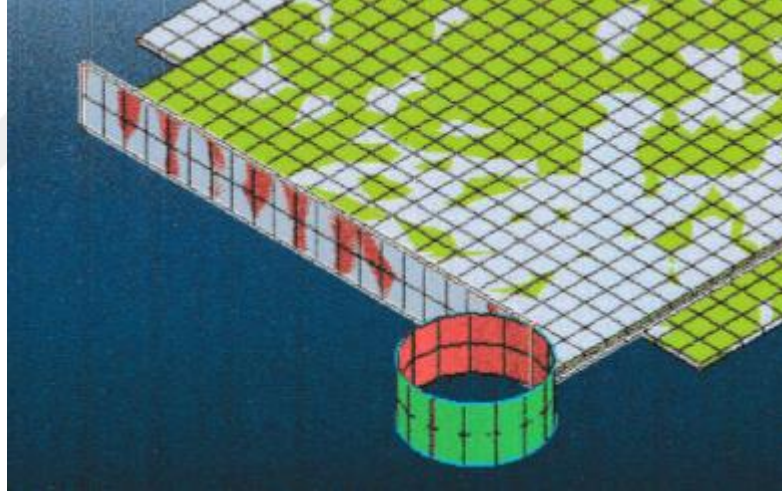
Daha önceki sayfalarda belirtilen malzemeler kullanılarak analiz işlemi yapıldı. İç ve dış panelin malzeme kalınlığı ilk olarak araştırmacıların yapmış olduğu tezler ve makalelere uygun olarak test edildi.

Düz yüzey-düz kenar yapıya sahip tek bir sac için işlem sırasındaki deformasyonlar her bir malzeme için deneysel olarak analiz edildi. 8 düğüm noktalı katı ve kabuk elemanlar kullanılarak işlemler yapıldı.

90° flanş oluşturmak için, dayanım, stres ve uygulanan silindirin kuvveti hesaplanarak en uygun dayanıma sahip 6022-T4E32 malzemesi seçildi.

İş parçasının 1.2 mm kalınlığı için 8 düğüm noktalı katı elemanlar tercih edildi. İlk etapta numune parça kullanılarak parça yüzey ölçülerine dikkat edilmedi. Robot silindiri 25 mm çap ölçüsü verilerek analizler başlatıldı.

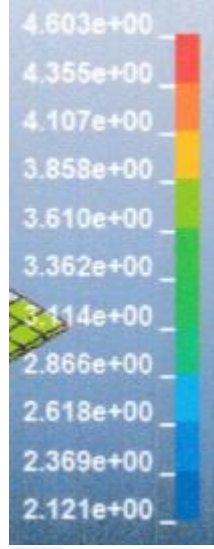
İş parçası üzerinde oluşan deformasyonları test etmek için bir alt kalıp yüzeyi oluşturuldu.



**Şekil 3.38:** Hemming silindiri yörüngesi

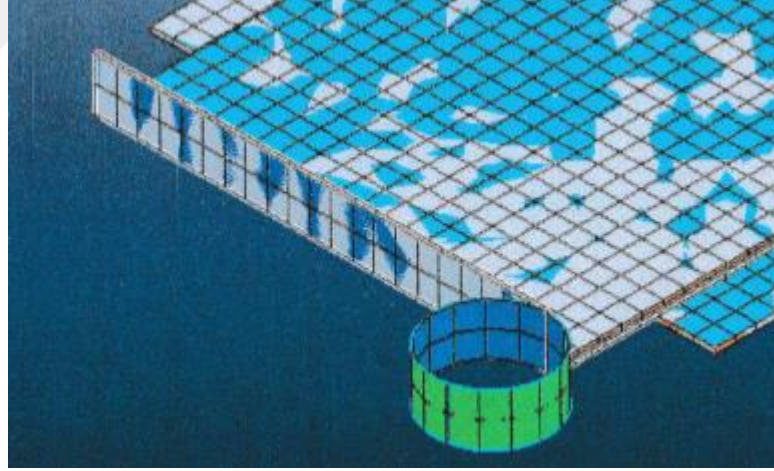
Şekilde görülen flanşı oluşmak için, iş parçasının köşesi referans noktası kabul edilerek robot silindiri kenar yörüngesinde 90° hemming ön flanş işlemini gerçekleştirdi. Flanş yüzeyinde silindir ile yakın temasta bulunan bölgelerdeki değişimler gösterildi.

Maksimum ön gerilimin olduğu bölgeler kırmızı renk ile gösterilmiştir. Bu işleme ait von Mises ön gerilim değerleri verilmiştir.



**Şekil 3.39:** Robotik silindir hemming ön gerilim değerleri

Bulunan ön gerilim değerinde mesh değerinin iyileştirilmesi sonucu aşağıdaki değerler bulundu.



**Şekil 3.40:** İyileştirilmiş hemming silindiri yörüngesi



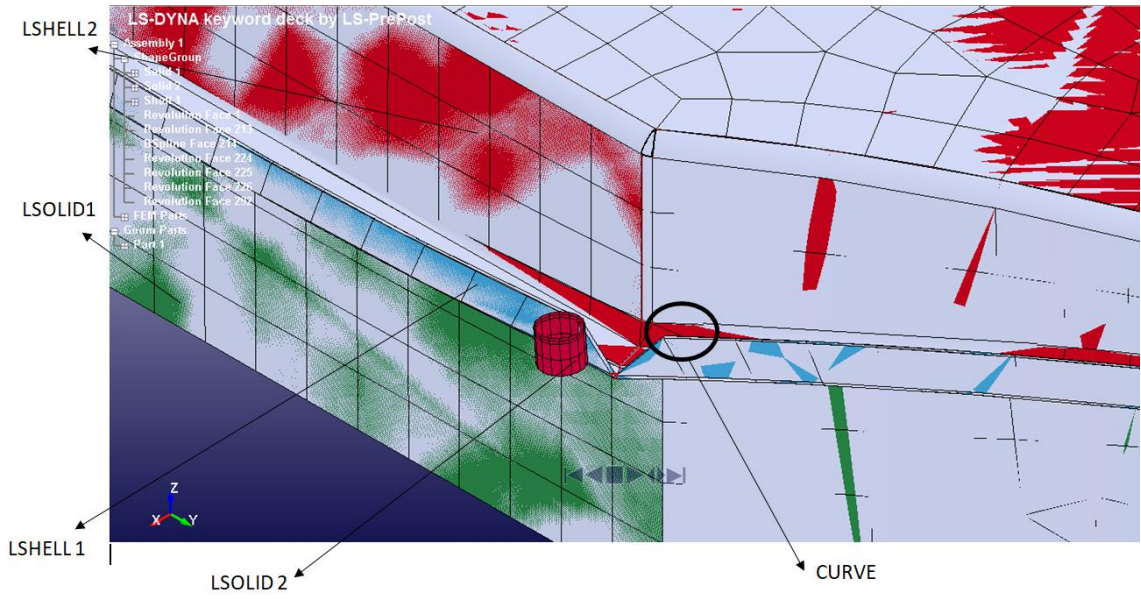
**Şekil 3.41:** Robotik silindir hemming iyileştirilmiş ön gerilim değerleri

Yapılan bu ön inceleme ve iyileştirmeler sonrası gövde iç panel ile dış panel, kalıp fikstürü ve robot silindirinin de bulunduğu yeni analizler yapıldı. Yapılan bu analizler sonucunda aşağıda yüzey kalitesinde ve von Mises ön gerilim oranındaki değişimler bulundu.

Bulunan bu değerler, LS-Prepost yazılımında gövde iç panelinin tüm kenarlarına uygulandı. Yani düz yüzey-düz kenar, eğimli yüzey-düz kenar ve eğimli yüzey-eğimli kenar yapısına ait deformasyon incelemesi yapıldı.

Bu analiz sırasında, diğer işlem elemanlarından iç panel ve kalıp fikstürü de ayrıca bulunur. Dış panel, iç panel, kalıp fikstürü ve robot silindiri temas halinde olacak şekilde analiz gerçekleştirildi.

Analiz yine ön gerilim değerlerinin bulunması için 90° ön flanş hemming işlemi yapılarak gösterildi.



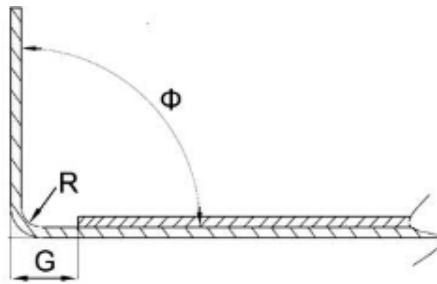
**Şekil 3.42:** Robotik silindir hemming parçaları eleman yapısı

Takım seçiminde mesh attığım LSOLID2 parçası seçildi.

Dış(LSHELL1) ve iç(LSHELL2)panelin malzemesi ve değerleri verildi.

İş yörüngesi olarak flanş kısmının başlangıç noktalarını tutuldu. Translate seçtiğim anda silindir ilerlemesini gösteriyor.

Rotation control bölümünde ise,



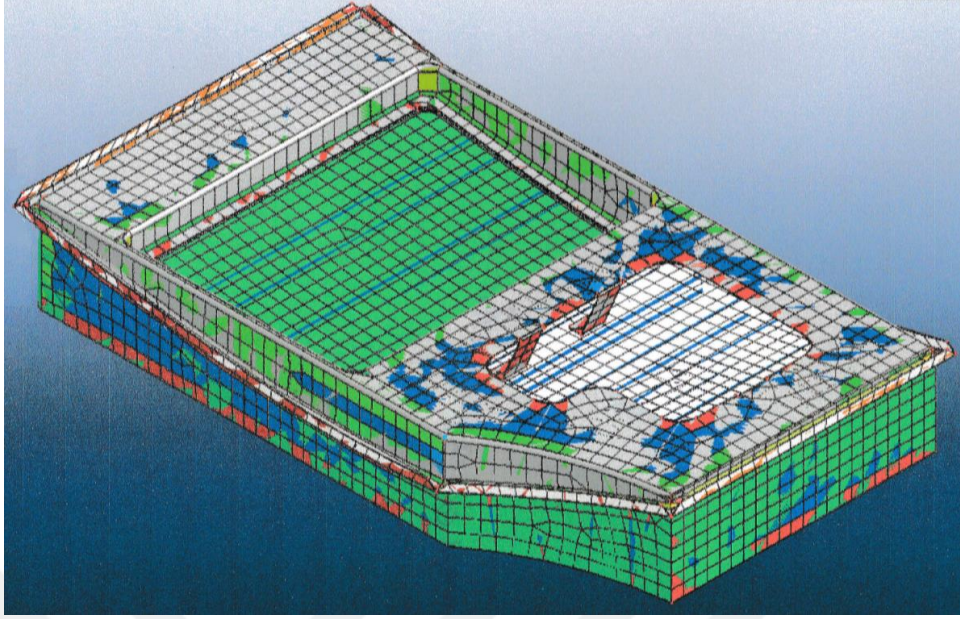
**Şekil 3.43:** Flanş oluşturma ölçüleri

Çap 1.2 mm

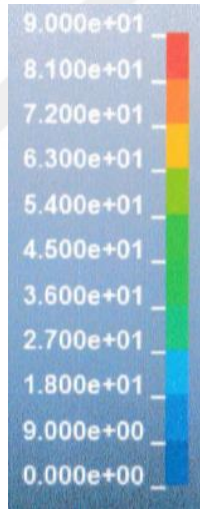
Boşluk 3mm

Dönme açısı  $-Y$  yönünde  $45^\circ$

Deplasman kuvveti olarak 500 N değeri belirlendi.



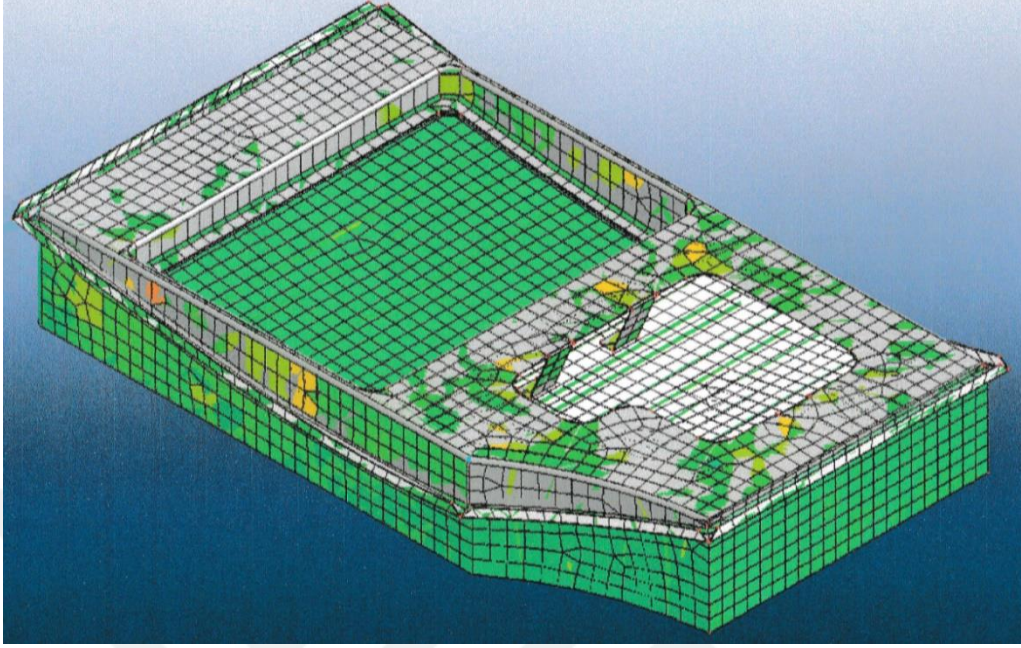
Şekil 3.44: Hemming silindirin uyguladığı kuvvet ile oluşan deformasyon



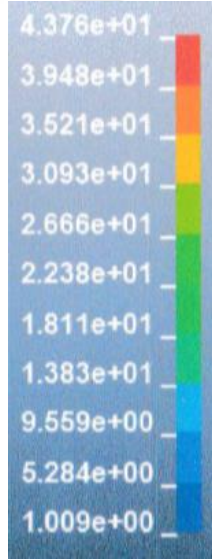
Şekil 3.45: Gövde panelinde oluşan ön gerilim

Şekilde görüldüğü üzere ilk denemede eğimli yüzeyin kenarlarında hemming ön flanş gerilimi çok yüksektir. Analizin mesh değerleri ve malzemenin iş parçası üzerindeki anizotropisi yeniden incelendi.

Bu değişiklikler sonrası dış panelin ön flanş işlemi sırasında ortaya çıkan ön gerilim oranı azalmış oldu. Aşağıdaki şekilde son denemeler sonrası ortaya çıkan nihai ön flanş işlemi gösterildi.



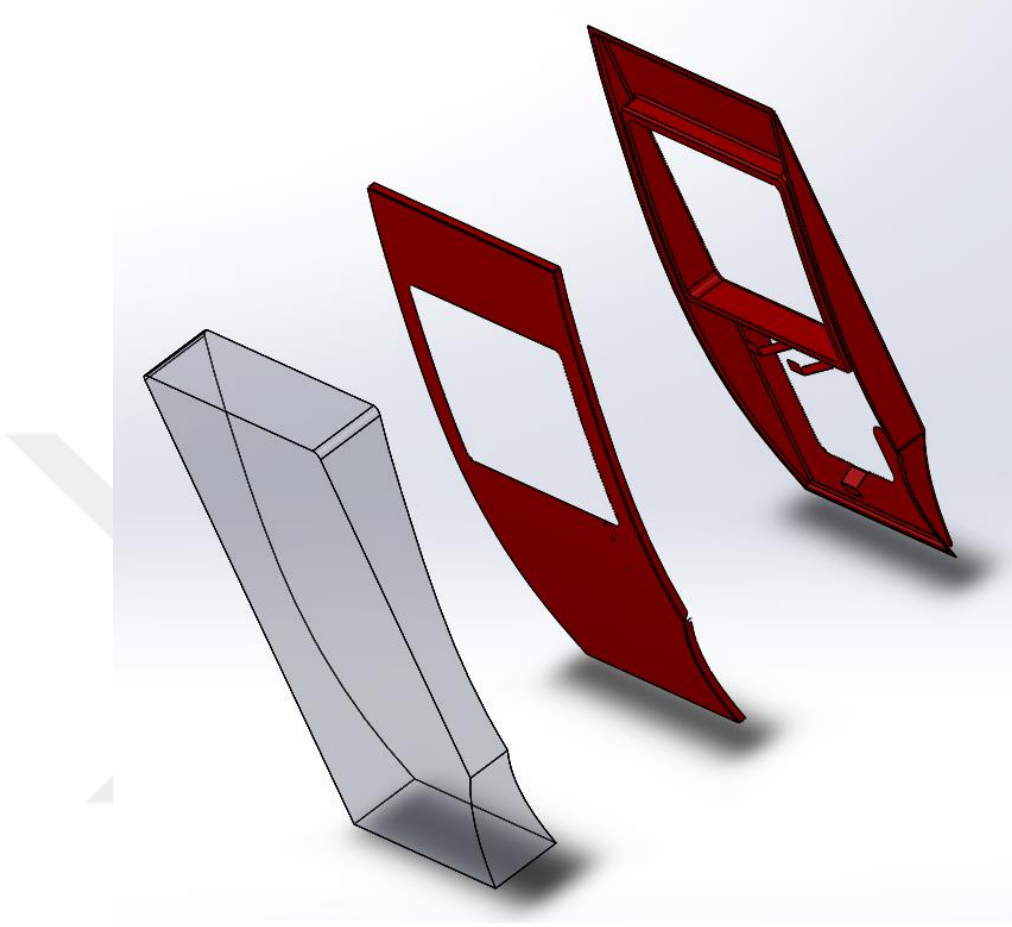
**Şekil 3.46:** Hemming silindirin uyguladığı kuvvet ile oluşan iyileştirilmiş deformasyon



**Şekil 3.47:** Gövde panelinde oluşan iyileştirilmiş ön gerilim

Yapılan bu çalışma haricinde, günümüzde sac metal parçalarının şekillendirilmesi işlemi için tercih edilen PamStamp-2G yazılımı da kullanıldı. LS-PrePost yazılımında elde ettiğimiz veriler ışığında, aynı veri değerleri kullanılarak yapıldı.

PamStamp-2G yazılımının LS-Prepost yazılımdan tek farkı, iş parçasında hemming işlemini yapacak olan silindirin verilerini hazır program içerisinde girip işlemi yapabiliriz.

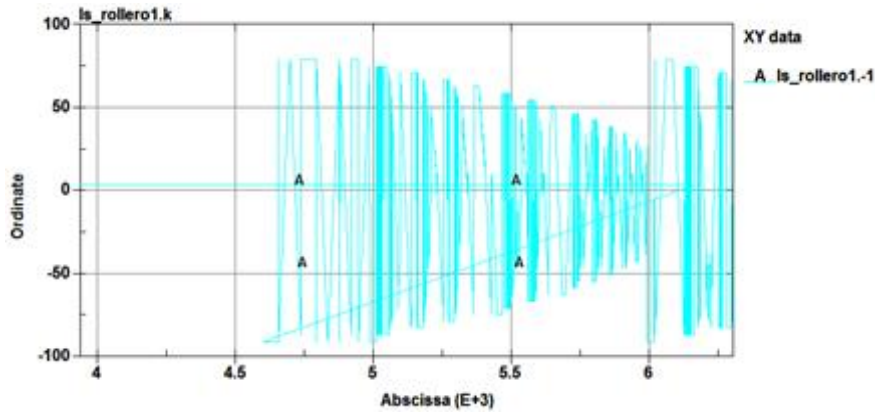


**Şekil 3.48:** PamStamp-2G yazılımı paneller ve kalıp görünüşü

Robotik silindir hemming işlemini yapmak için, hazır bir robot oluşturma kursörü bulunmaktadır. Bu yazılımda, hem ön flanş, hem de final hemming işlemi yapıldı.

Elde edilen değerler, LS-Prepost yazılımına yakın değerler olduğu için buradaki veriler kullanılmadı. Yapılan bu işlemler sonucunda robotik silindir hemming işlemi için aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.

İlk şekilde, iş paneli yörüngesi üzerinde ilerleyen hemming silindirinin yüzey deformasyonu gösterilmiştir. Dış panelin üst kısmındaki yuvarlatılmış köşelerdeki hemming sırasında oluşan deformasyon gösterildi.



Şekil 3.49: Yörünge ve hemming adımı sonucu yüzey deformasyonu

Şekil 3.49'da gösterilen diyagram, 6022-T4E32 alüminyum malzemenin silindir hemming işlemi sırasında oluşturduğu elastik şekil değiştirmedir. Malzemenin üst ve alt akma sınırı deformasyonun en çok gözlemlendiği kısımdır.

Akma sınırının alt ve üst kısmında lüder oluşumu meydana gelir. Burada gerilme ve deformasyon eğrisinin elastik şekil değiştirme kısmını oluşturan bu bölge incelendi. Dış panelin üst kısmındaki yuvarlatılmış köşelerdeki deformasyon geri esnemeye yol açmaktadır.

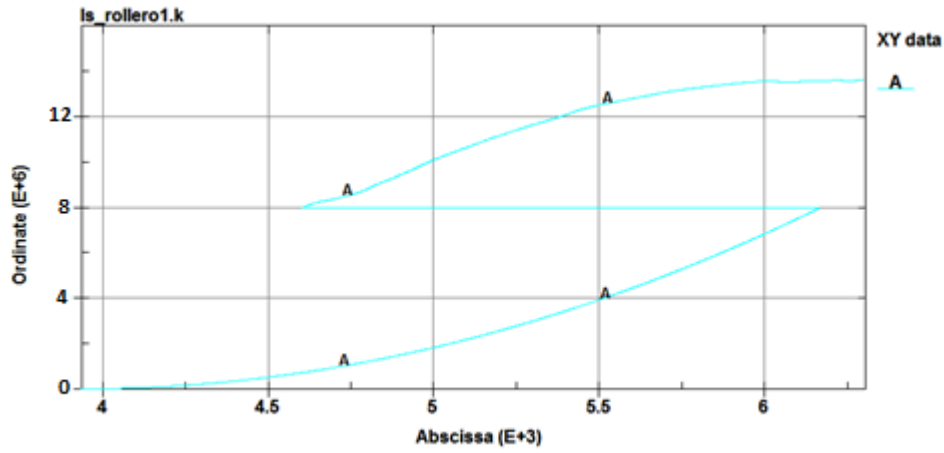
Silindirin dış panel üzerindeki hareketi sırasında, y(ordinat) ve x(apsis) koordinatlarında kritik mesh noktalarında oluşan deformasyon 12.4 mm flanş boyu için bu şekilde gösterilmektedir. 5.5 mm ve 6 mm arasındaki mesh noktalarında işlem gerçekleşmediği için akma sınırları düşüktür.

Diyagramda y ekseninde gösterilen A noktaları flanş boyunun orta kısmı(0) ve panelin kenarı(-50) silindirin yüzeyde oluşturduğu akma dayanım sınırını gösterir. Şekil 3.32'de gösterilen köşe deformasyonu bu diyagramda açıklandı. Fabrikada yapılan clinch(kenar katlama) işlemi sırasında görülen bu deformasyon panelin kenarlarının çizimde düzgün kenar yapısına dönüştürülmesi ile, yani yuvarlatılmış köşe yapısı yerine 45° pah kırılarak oluşturulmuş kenar yüzeylerinde kenar katlama işlemi yapılarak gerçekleştirildi.

Silindirin yörüngedeki ilerleyişi sırasında kritik bölgelere gelindiğinde deformasyonun arttığı görüldü. Ön flanş sırasında, panel kenarındaki buruşma final hemming ile düzeltildi. 25 mm silindir çapı ile yapılan ön flanşın, hemen arkasından gelen 40 mm silindir çapı ile yapılan

final hemming ile buruşma giderildi. Ayrıca kuvvet 650 N'a çıkarılarak geri esneme engellendi ve yüzey pürüzlülüğü oranı minimum düzeye indirildi.

İkinci şekilde ise, yörüngedeki silindirin dış panelde oluşturduğu gerilim gösterildi. Burada A, silindirin yörünge üzerindeki her bir adımında göstermiş olduğu gerilim dayanımının mesh noktalarındaki ifadesidir. Eğimli kenarın kritik bölgelerinde her adımda stabil bir yükselme gözlemlendi.



Şekil 3.50: Yörünge ve hemming adımı sonucu ön gerilim

Analiz diyagramı, x ekseninde yüzeyin belirli bir mesh mesafesinde ve y ekseninde 12.4 mm flanş boyunda oluşan şekil değişiminden oluşur.

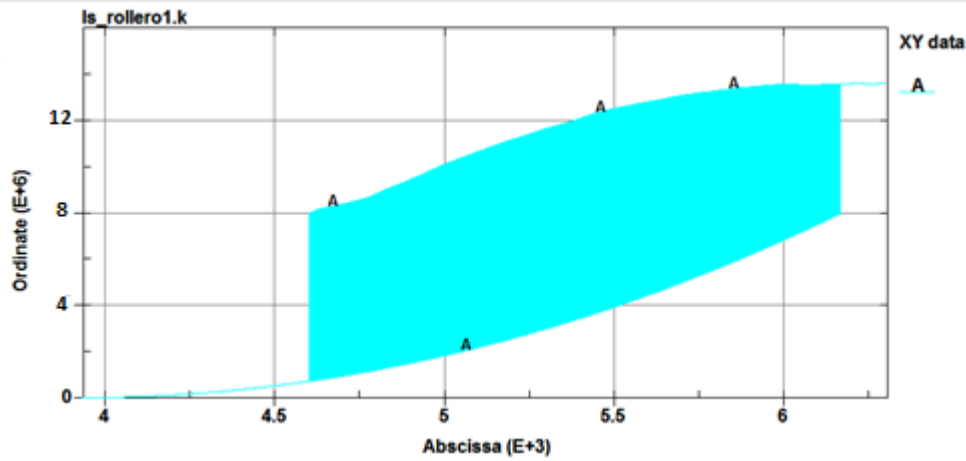
İlk olarak belirlenen x eksenindeki kritik mesh noktalarında, 0 ile 6mm mesh yüzeyinde 500 N'luk deplasman kuvveti ile oluşan gerilme ve şekil değiştirme gösterilmiştir. 6022-T4E32 malzemesi için gerilmenin kararlı olduğu bölge A noktalarının arasındadır.

Genel akma sınırının altındaki gerilim ve sünek olan bu malzemede uygulanan kuvvet sonucu düşük şekil değiştirme davranışı gösterdiği görülmektedir. Flanş boyunda geri esneme görülür.

İkinci olarak x ekseninde kritik mesh noktalarında, 4.6 ile 6.6 mm mesh yüzeyinde 650 N'luk deplasman kuvveti ile oluşan gerilme ve şekil değiştirme gösterilmiştir. Akma sınırının üstündeki gerilim ve sünek olan bu malzemede uygulanan yeni kuvvet sonucu yüksek

mukavemet ve tokluk davranışı görülür. Flanş boyu yüzeyinde, 8 mm ve 12.4 mm mesafede geri esneme önlenir.

Son olarak, 6022-T4E32 malzemesinin yüzey sertlik dayanımı incelendi. Analiz diyagramı, x ekseninde yüzeyin belirli bir mesh mesafesinde ve y ekseninde 12.4 mm flanş boyunda oluşan yüzey sertlik dayanımını gösterir.



Şekil 3.51: 6022-T4E32 malzemenin yüzey sertlik değerleri

İlk olarak belirlenen x eksenindeki kritik mesh noktalarında, 500 N'luk deplasman kuvveti ile oluşan gerilme ve yüzey sertliği dayanımı gösterilmiştir. 6022-T4E32 malzemesi için A noktası yüzey sertliğinin görüldüğü tek bölgedir.

Kuvvet yüzey üzerinde şekil değiştirme davranışını geri esneme olmadan tamamlayamadığı için, yüzey sertliğinde tek bir dayanım noktası temasında bulunur. Bu yüzden, büyük ölçekte bir değişim görülmemektedir.

İkinci olarak x ekseninde kritik mesh noktalarında, 4.6 ile 6.6 mm mesh yüzeyinde 650 N'luk deplasman kuvveti ile oluşan gerilme ve yüzey sertliği dayanımı gösterilmiştir. Akma sınırının üstündeki gerilim ve sünek olan bu malzemede uygulanan yeni kuvvet sonucu 3 adet A noktasında yüksek yüzey sertlik dayanımı görülür.

Buruşma, yırtılma vb. deformasyonların meydana geldiği alüminyum alaşımlarında 6022-T4E32'nin en iyi malzeme özelliklerine sahip olduğu görüldü. |

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, otomobil kapı üretiminin yapıldığı bir fabrikada incelediğimiz hemming işlemi geleneksel adımları gözlemlendi. Robotik silindir hemming operasyonu için üretim hattının bu yöntemi bir takım değişiklikler, maliyet hesapları ve üretim kalite spesifikasyonlarını karşılayacak şekilde kendilerine uyarlayabilecekleri belirlendi.

İlk olarak uygulamada, maliyet ve hattın yerleşiminde bir takım iyileştirmeler yapılması gerekse de, parça kalitesi, fikstür kullanımı ve teçhizat kullanımında iyileşmeler gözlemlenecektir.

Hemming işlemi sırasında montajı yapılan iç ve dış panele bir etkisi bulunmasa da kullanılan bağlantı parçaları yerleşimi doğru yapılmaz ise, her iki panel içinde boyutsal ve düzlemsel yüzey kontrol aşamalarında sorunlara yol açmaktadır. Bu yüzden yüzey kalitesini iyileştirmek için bir kalıp fikstürü kullanıldı.

Otomobil kapı imalatında kenar katlama işleminin iş parçası üzerine etkisi sayısal olarak da incelendi. İş parçasının geometrisi ve malzeme özellikleri dikkate alınarak LS-PrePost ve Pam Stamp-2g yazılımında modellendi. Kullanılan robotun modellenmesi de aynı yazılım yoluyla yapıldı. Kenar katlama işleminde uygulanan basınç altında, kenar katlama yüzeyinde meydana gelen deformasyonlar ile ilgili kritik gerilim ve kayma değerleri mühendislik yöntemlerinin kullanılması ile hesaplandı.

Hemming parametrelerini yeterli ölçüde karşılayabilmesi için, farklı özelliklere sahip malzemeler seçildi. Seçilen bu malzemeler arasında en iyi dayanım özelliklerine sahip 6022-T4E32 alüminyum alaşımı belirlendi. Analizler bu malzeme esas alınarak yapıldı.

Sonlu elemanlar yöntemi ile kenar katlama işleminin yeni hali olan robotik silindir kenar katlama yönteminin yapısı incelenerek mühendislik analizleri yapıldı. Pam Stamp-2g yazılımından elde edilen kritik gerilim, deformasyon ve yüzey sertlik değerleri incelenmiştir.

Robotun ilerleme hızı, devir hızı ve takımlar arasındaki değişim süresinin iş parçasının kırışıklık ve geri esneme oranında azalmaya imkân sağladığı görüldü.

Ayrıca bulanık mantık sistem yaklaşımını kullanarak nasıl daha kaliteli yüzey elde edebiliriz sorusuna cevap arandı.

Malzeme ve yöntem kısmında bahsedilen işlem yapısı IDEF0 metodu ile modellendi. Fabrika hattı tüm üretimlerinin ve seçilmiş olan kapı numunesinin UML modellemesi yapıldı. Son olarak, kalite evi oluşturularak montaj kapı panellerinde meydana gelen deformasyonlar ve yüzey hataları belirlendi.

Bu çalışma sonucunda, oluşturulan kalite evi ile imalat sırasında karşılaşılan sorunlar ve gövde panellerinde oluşan deformasyonlar belirlendi. İş ve fonksiyonel gereksinimler göz önüne alındığında, clinch işlemi kullanılan fabrika hattında sadece punta kaynak, sealer ve clinch hattında minimum iyileştirmeler yapılmaktadır.

Fonksiyonel gereksinimlerin kontrolü sırasında pres kaynaklı kalıp izi orta derecede ilişkilendirilmiş olsa da parça kalitesini belirleyen en önemli unsurdur.Yapılan kontroller sonrası üretim hattındaki teknik önem derecesi fabrikanın yüksek oranda punta kaynak işlemine odaklandığını gösterdi.

Punta kaynak işlemi için 488.6 önem derecesi ve %31 fabrika işlem ağırlığı ile en yüksek üretim süresi, şirket içi eğitim, revizyon, maliyet vb. değerleri gerektirir.

Clinch işleminde ise, 40.91 önem derecesi ve %3 fabrika işlem ağırlığı ile en düşük değerlere sahiptir.

Tezde bahsedilen robot hemming operasyonu için gerekli bilgiler ve seçilen robot özellikleri verildi. Verilen bu bilgiler ışığında yapılan işlemlerin PPAP adı verilen ürün kalite şartlarına uygunluğu incelendi ve bu konu hakkında bilgiler verildi.

Bu araştırma yapılırken, ortaya çıkan bir takım fikirler ileride bunun yapılabilme olasılığını düşündürdü. Sonuç kısmında verilen bilgilerin referans oluşturduğu bir takım öneriler aşağıda yapıldı.

- Kullanmış olduğumuz robotun kafasına bağlı kaç farklı operasyon yapılabilir.
- Mastik, hemming, puntalama ve kütleme robot ile uyumu nasıl sağlanır.
- Robot kafası düzlemsel yüzey üzerinde robot omurgasında hareket ile mi çalışacak.
- Operasyonlar arası bekleme sürecini oluşturan mastik ve kütleme işlemlerinin kuruma ve genleşme sürelerinin çevrim zamanı nasıl düşürülür.
- Robot zemine bağlı mı yoksa gezer halde mi olacak.



## KAYNAKLAR

- [1] Le Maout, L., Manach, P.Y., Pauvert, O. , Thuillier, S., 2008, *Numerical Simulation of the Hemming Process - Integration in the Virtual Design of Automotive Parts*, Numisheet2008, September 1-5, 699-704.
- [2] Taysad, 2011, *APQP-PPAP İleri Ürün Kalite Planlaması – Üretim Parça Onay Prosesi*, Ocak – Şubat Eğitim / Seminer İçerikleri.
- [2] İnceli, F., *ISO TS 16949 Farklı Noktaları ve ISO 9001 Değişikliklerinin TS Standardına Yansımaları*, BSI Eurasia, [www.bsi-turkey.com](http://www.bsi-turkey.com), Şubat 2011.
- [3] *ISO TS 16949-2009 Teknik Spesifikasyonları - Kalite Yönetim Sistemleri Otomotiv Üretimi ile İlgili Servis Parçaları Organizasyonlarında ISO 9001:2008'in Uygulanması İçin Özel Şartlar*, [www.sigmacenter.com.tr](http://www.sigmacenter.com.tr), Eylül 2017.
- [4] Lin, G., 2006, *Quality and Formability in Hemming of Automotive Aluminum Alloys*, ProQuest Disertation and Theses(PQDT).
- [5] Zhang, G., 2001, *Analysis and optimization of sheet metal flanging and hemming processes*, ProQuest Dissertations & Theses (PQDT).
- [6] Lin, G., Li, J., Hu, S. J., Cai, W., *A Computational Response Surface Study of Three-Dimensional Aluminum Hemming Using Solid-to-Shell Mapping*, Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 129, April 2007, 360-368.
- [7] Espinosa, R.H., *Finite element simulation of warm forming assisted sheet metal bending*, Mayıs 2006, ProQuest Dissertations & Theses (PQDT).
- [8] Taub, A.I., Krajewski, P.E., Luo, A.A., Owens, J.N., *The Evolution of Technology for Materials Processing over the Last 50 Years: The Automotive Example*, JOM, Şubat, 2007, 48-57.
- [9] Saboori, B., Saboori, B., Carlson, J.S., Söderberg, R., *Introducing Fast Robot Roller Hemming Process in Automotive Industry*, World Academy of Science, Engineering and Technology, 2009, 503-506.
- [10] Sawa, M., *Roller Rolling Type Working Device and Roller Rolling Type Working Method*, European Patent Application, EP 1 097 759 A1, 2001.
- [11] Ikeda, H., Nara, E., *Roller Hemming Processing System*, United States Patent Application Publication, US 2012/0260711 A1, 2012.
- [12] Sato, T., Kika, G., *Roller Hemming Device Using Robot Manipulator with Force Sensör*, United States Patent Application Publication, US 2011/0107807 A1, 2011.

- [13] Zhang, G., Hao, H., Wu, X., Hu, S. J., Harper, K., Faite, W., *An Experimental Investigation of Curved Surface-Straight Edge Hemming*, Journal of Manufacturing Processes Vol. 2/No. 4, 2000, 241-246.
- [14] Hu, X., Zhao, Y., Huang, S., Li, S., Lin, Z., *Numerical analysis of the roller hemming process*, Int J Adv Manuf Technol, (2012) 62, 543-550.
- [15] Eisele, U., Roll, K., Liewald, M., *Development of an empirical model to determine results from FEA roller hemming processes*, 9. LS-DYNA Forum, Bamberg 2010, C-I-1 - C-I-14.
- [16] Jonkers, B., *Simulation of the Robot Roller Hemming process*, Department of Mechanical Engineering Applied Mechanics, Voestalpine Polynorm Automotive, Universiteit Twente, November 2006.



**EKLER****IDEF0 İŞLEM NUMARALARI LİSTESİ**

I: input    O: output    C: control    M: mechanisms

A-0 Sol kayar kapı üretim aşamaları

A-1 Ana fabrikadan gelen emirlere göre Ar-ge işlemi

I-1 Ana fabrikadan gelen emirlere göre iç ve dış paneller hariç montaj parçaları ve kalıpları için tasarım fikirleri geliştirme

C-1-1 Ana fabrika talepleri

C-1-2 Parça ölçülerinin uygunluğunu kontrol etme

C-1-3 PPAP onayı alabilmesi için kontrol etme

M-1 Ar-ge işlemi tasarımcı tarafından gerçekleştirilir.

O-1 Ana sac plakalar(fabrikadan gelen iç ve dış plakalar) harici CATIA çizimleri

A-11 İç ve dış plakalar ölçü bilgisi

A-12 Malzeme seçimi(ürün standardına göre)

A-13 Yüzey kalitesi ve toleranslar

A-14 Örnek tasarımı gerçekleştirme

A-2 Sol kayar kapı proses planlama işlemi

I-2-1 TSE, EN, DIN standardına göre gövde imalatında kullanılan parçaların malzeme özellikleri

I-2-2 İşlemleri gerçekleştirecek makine ve ekipmanlarının doğru yerleşimini yapabilmek için veya imalat alanına yeni bir proses eklemek için imalat alanı yapısını bilmemiz gerekir.

C-2 Fabrika talepleri doğrultusunda onaylanan proses planlama sonucu imalata geçiş kolaylığı

M-2 Proses planlama sorumlusu ana fabrika ile sürekli irtibat halinde olup değişiklikleri revize eder.

O-2 Çizimler ve işlem adımlarının bulunduğu tüm proses sayfaları

A-21 Organizasyon yapısını oluşturma

A-22 Mamul stok yapısını belirleme

I-22-1 Mamul alanı

I-22-2 Forklift alanı

I-22-3 İmalat alanı = I-21-1

I-22-4 Sevk hazır bölgesi alanı

A-23 Her bir iş parçası modeli için proses akış diyagramları oluşturma

A-24 Her bir iş parçası modeli için oluşturduğumuz proses akış diyagramını kullanarak işlemleri gerçekleştirmek üzere hazırlanmış görsel proses sayfaları hazırlama

A-25 Her bir model için ve detay parçalar için iki farklı ürün ağacı oluşturma

A-3 Sol kayar kapı imalat işlemleri aşamaları

I-3 İmalatı gerçekleştirmek için gerekli bütün parçaların no ve adları

C-3 Çizim ve işlem adımlarının bulunduğu proses sayfaları

M-3 Gerekli makine ve araçlar(fikstür, punta tabancası, pres vb.)

O-3 İmalat işlemleri tamamlanmış olan iş parçası montajı

A-31 Punta kaynak için fikstüre iç paneli yükleme işlemi

A-32 İç panele yerleştirilen diğer montaj parçalarının punta işlemleri

A-321 İç panelin belirlenen bölgelerine diğer montaj parçalarını yerleştirme

A-322 Punta ayarının yapılması

A-323 Punta basım sırası ve basım işlemlerini gerçekleştirme

A-324 İş parçasını bir diğer fikstüre geçirerek kalan punta işlemlerini tamamlama

A-325 Diğer işlemler için stok sehpa konan iş parçasını kontrol etme

A-33 Dış panele sealer bandı yapıştırma ve iç panelin bütün kenarlarına robot kol yardımı ile çevresel mastik uygulama işlemi

A-331 İç ve dış paneli fikstürler üzerine yükleme

A-332 Dış panelin iç yüzeyine pad sealeri yapıştırma

A-333 Önce iç paneli ve daha sonra dış paneli alacak şekilde robot kol koordinatlarını belirleme

A-334 Robot kolla aldığımız iç paneli dış panelle birleşen kısmı üste gelecek şekilde bir tepsi gibi tutup tüm kenarlara 0 düzlemde sadece sağ, sol, ileri ve geri hareketle mastik çekilir.

A-335 Çekilen mastiğin parça üzerinde fazladan birikip birikmediği kontrol edilir.

A-34 İç ve dış paneli iki ayrı fikstüre koyup, robot kol ile önce iç panel alınır ve daha sonra dış panelde birbirinin üstüne gelecek şekilde alınır. Pres alt çenesine dış panel altta kalacak şekilde yerleştirilir ve clinch(kenar katlama) işlemi yapılır.

A-341 Sealer işleminden sonra birleştirilen iç ve dış panel prese götürülür ve presin alt çenesine yerleştirilir.

A-342 Clinch pres ayarının yapılması

A-343 İlk önce üst çene parçaya baskı uygulayarak 90° açı ile flanş oluşturur. Daha sonra kenar baskı plakaları içeriye kapanarak 180° açı ile katlama işlemini bitirir.

A-344 Presten diğer bir robot kolla alınan iş parçası bant üzerine konur. Bir sonraki işlem bölgesine geldiğinde durur ve sabitlenir. Bu kısımda mastikleri kurutmak için kürlleme işlemi uygulanır.

A-345 İş parçasında basınçtan dolayı oluşan mastik taşmalarına bakılır ve gerekiyorsa temizlenir.

A-35 Son olarak camın yerleşeceği kombi(camlı) modellere 24 veya 32 adet punta deliği açılır. Daha sonra parçanın kenarlarındaki sealer mastik temizlenir.

A-351 Kürlleme işlemi bittikten sonra bant üzerinde gelen iş parçası alınarak fikstüre yerleştirilir.

A-352 Punta ayarının yapılması

A-353 Camın yerleşeceği kombi(camlı) modellere 24 veya 32 adet punta deliği açılır.

A-354 Dış panel üzerine dökülen bir sıvı yoluyla yüzey ışın kontrolü yapılır.

A-4 Sol kayar kapı kalite kontrol işlemi

I-4Final(bitmiş) parça numunesi laboratuara gerekli testler için istenir.

C-4-1İNKR, FPA, Teardown, İPK vb. kontrol ve kıyas yöntemleri seçmek

C-4-2TS 16949 kalite standardına uygun kontrol işlemi

M-4 Gözle, tahribatlı, tahribatsız vb. muayene yapmak için gerekli kalite kontrol cihazları ve ölçüm aletleri kullanmak

O-4 Seçilen kontrol ve kıyas yöntemlerinin uygulanması sonucu oluşturulan test sayfaları

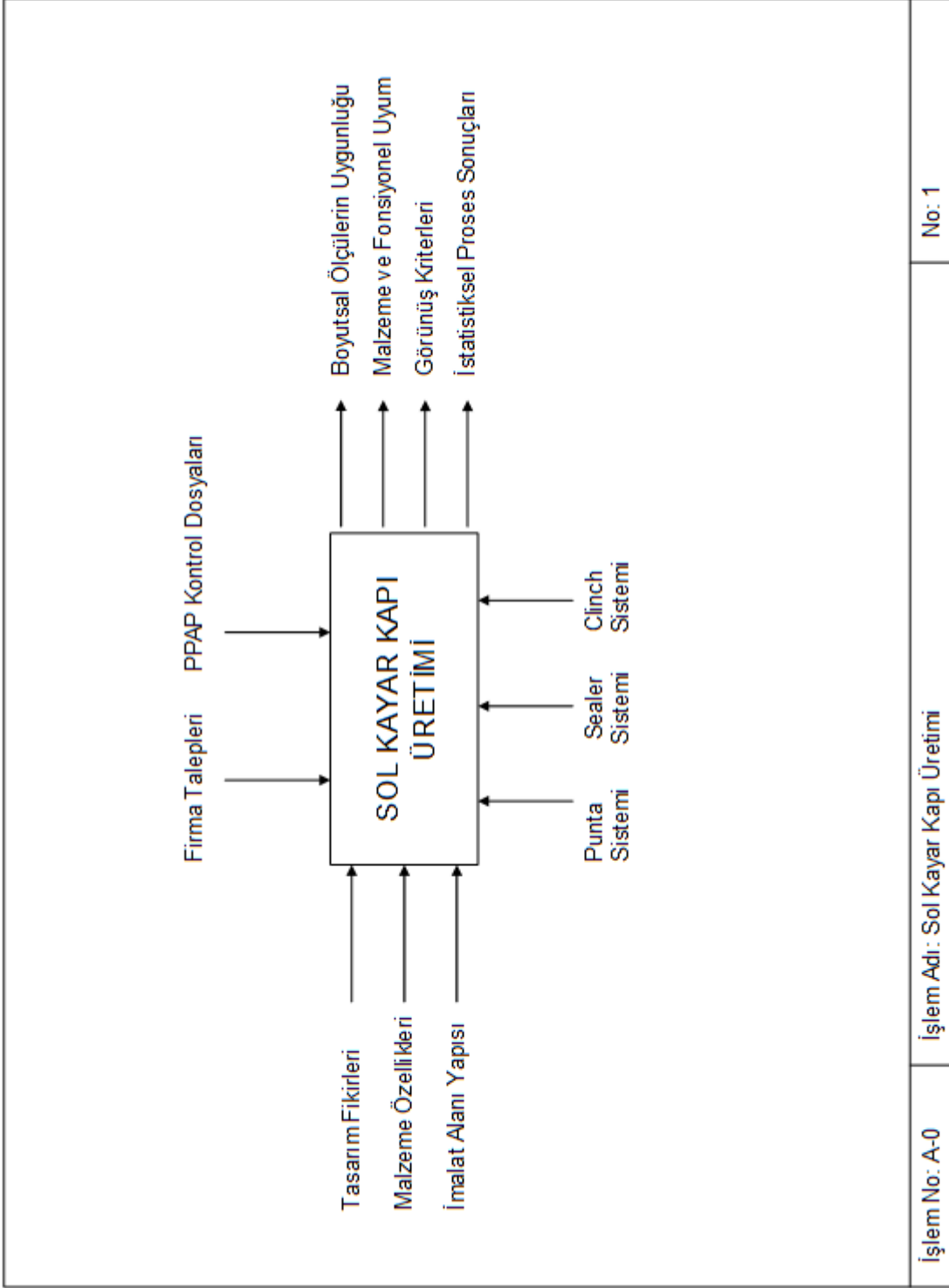
A-41 Seçilen malzemeleri gönderen firmanın kontrol raporları yeterli olmadığında başka bir malzeme testi yapan kuruluştan yardım alınır ve bu raporlar karşılaştırılır.

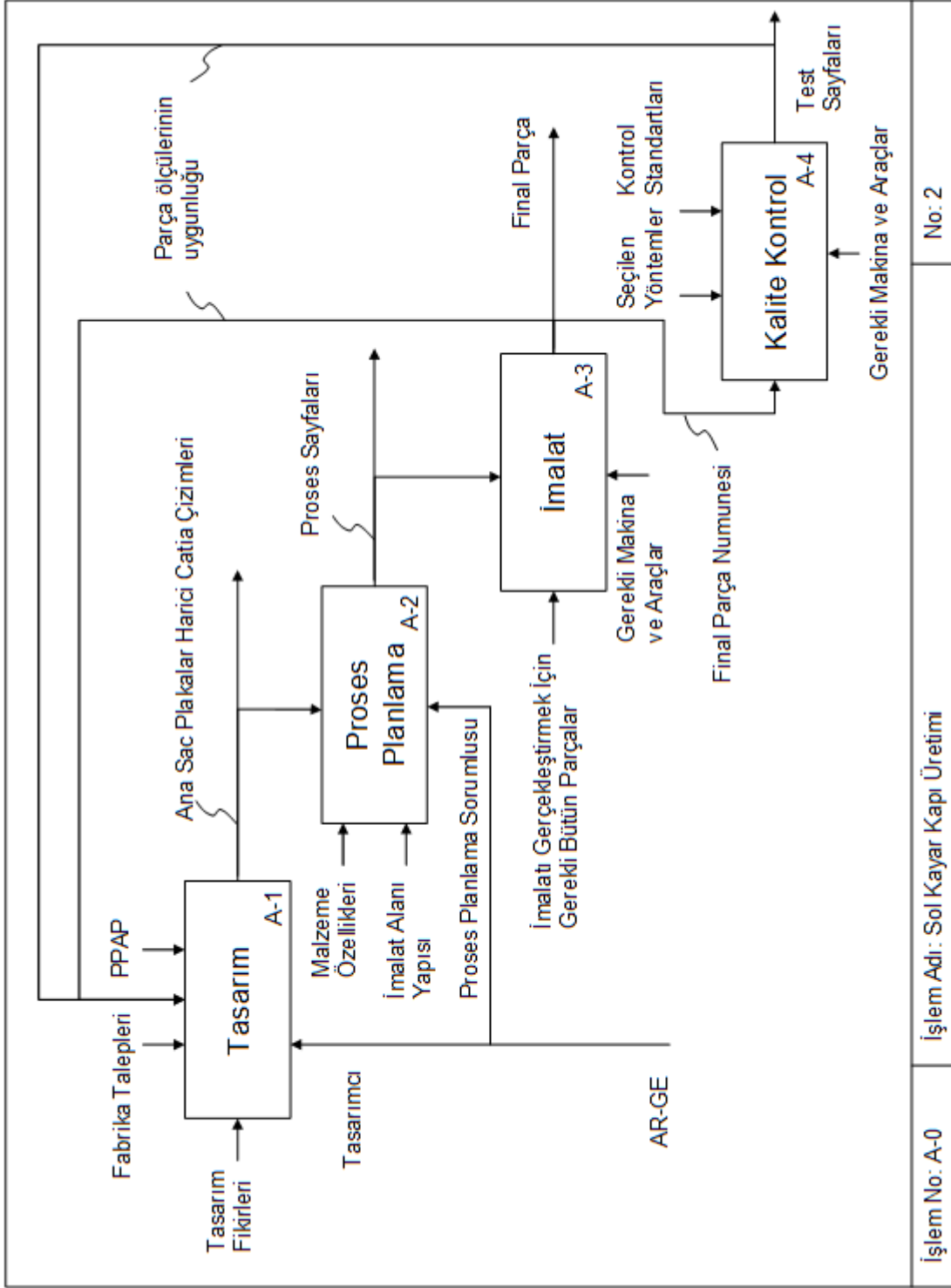
A-42 Bitmiş iş parçasının kenarlarında belirlenen noktaların boyutsal değerlerinin belirlenmesi

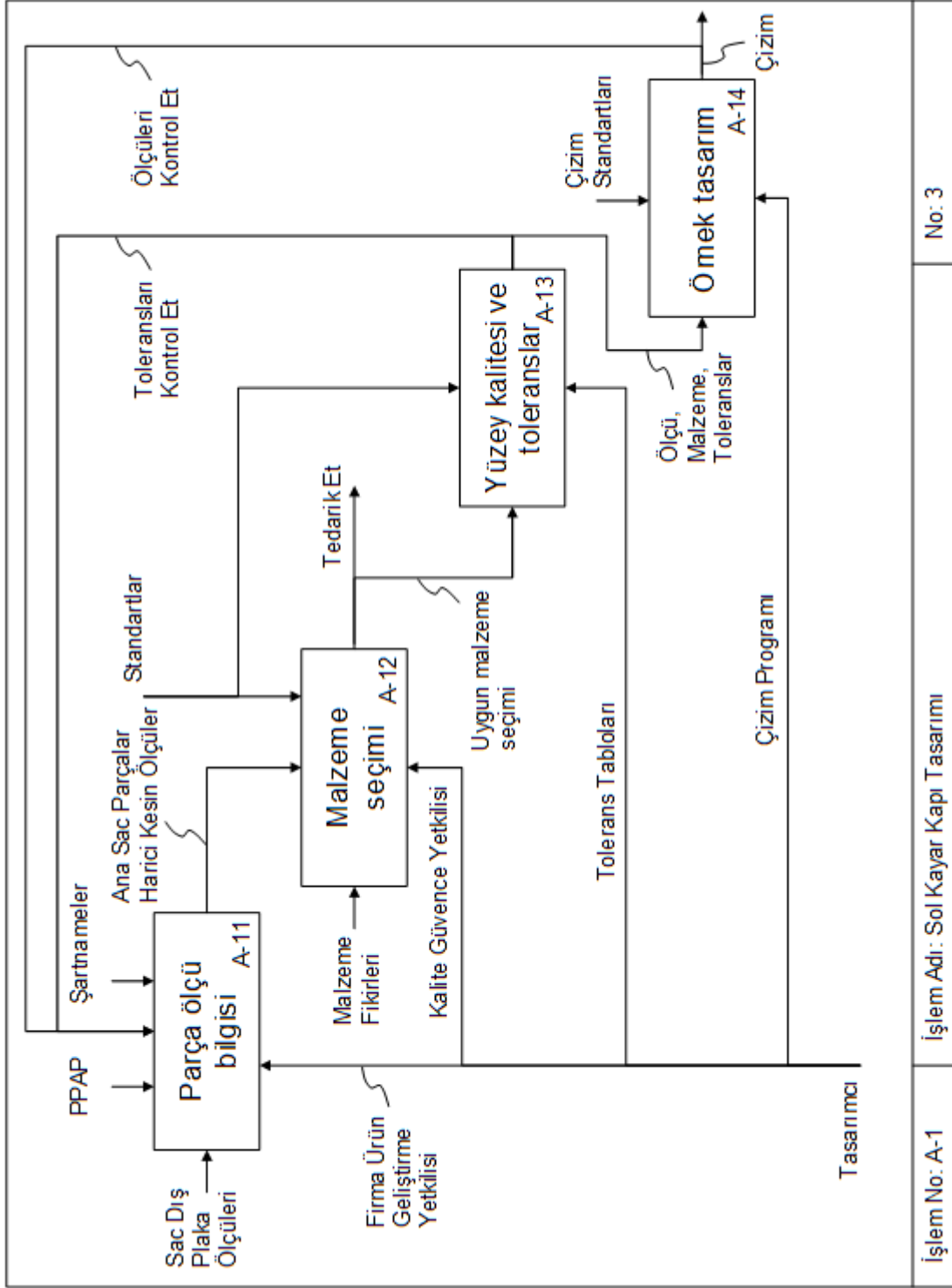
A-43 Punta, clinch, sealer işlemlerinin kontrolü ve raporlaştırılması

A-44 İNKR parçada belirlenen noktaların ölçümlerinin ana fabrika ve firma arasında karşılaştırılması işlemi

A-45 Son kontrol işlemi ve sonrasında stok



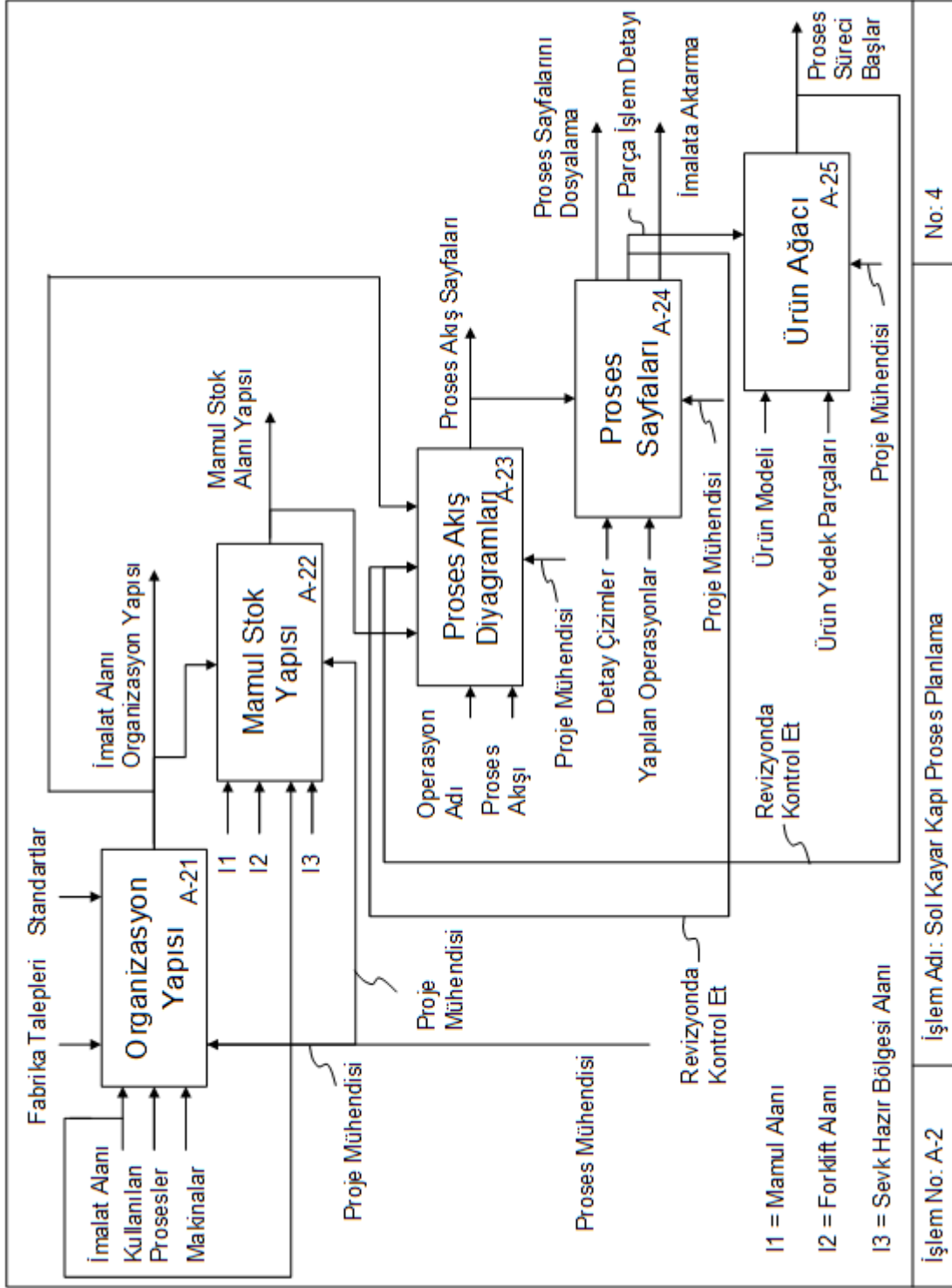


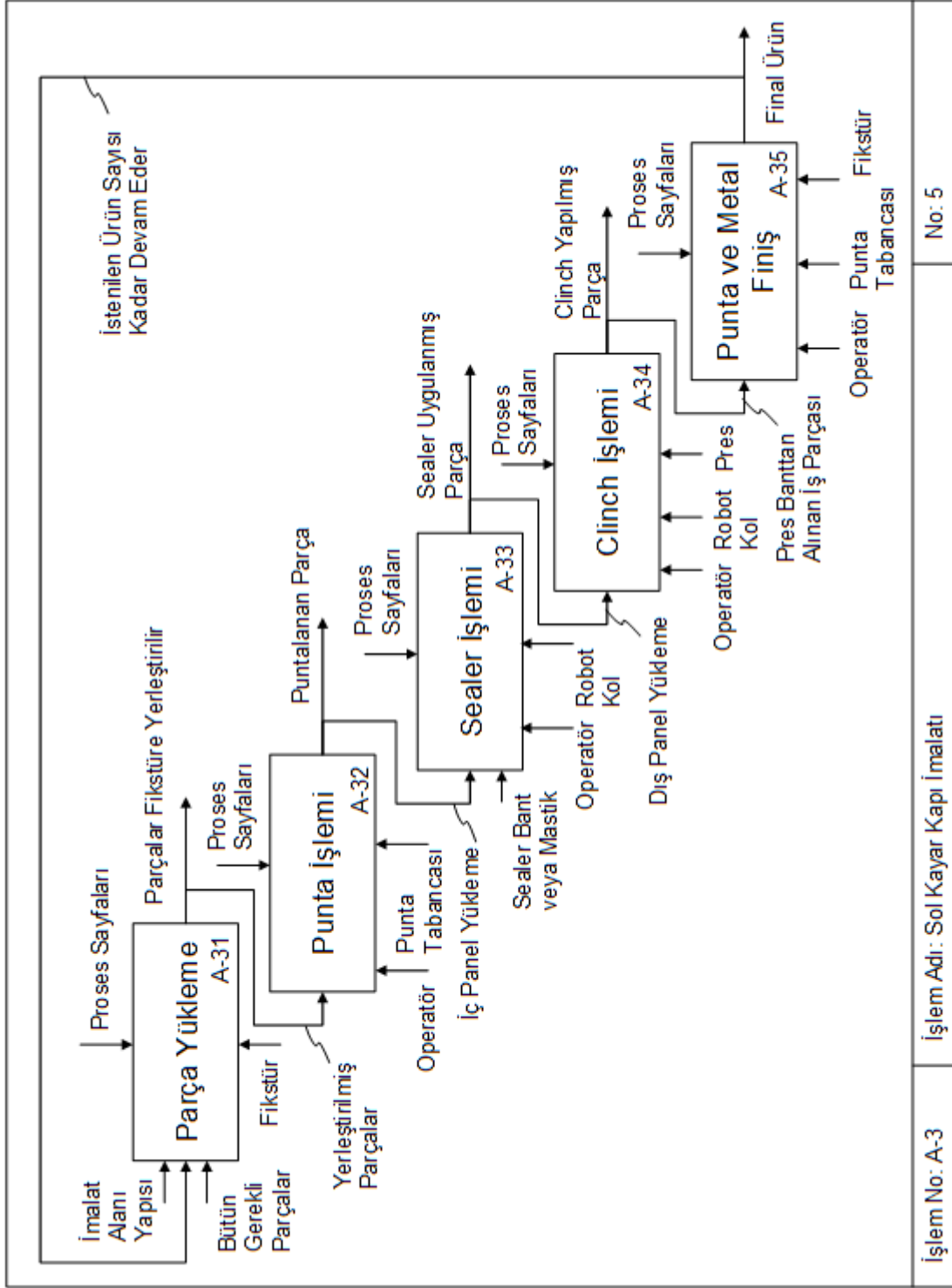


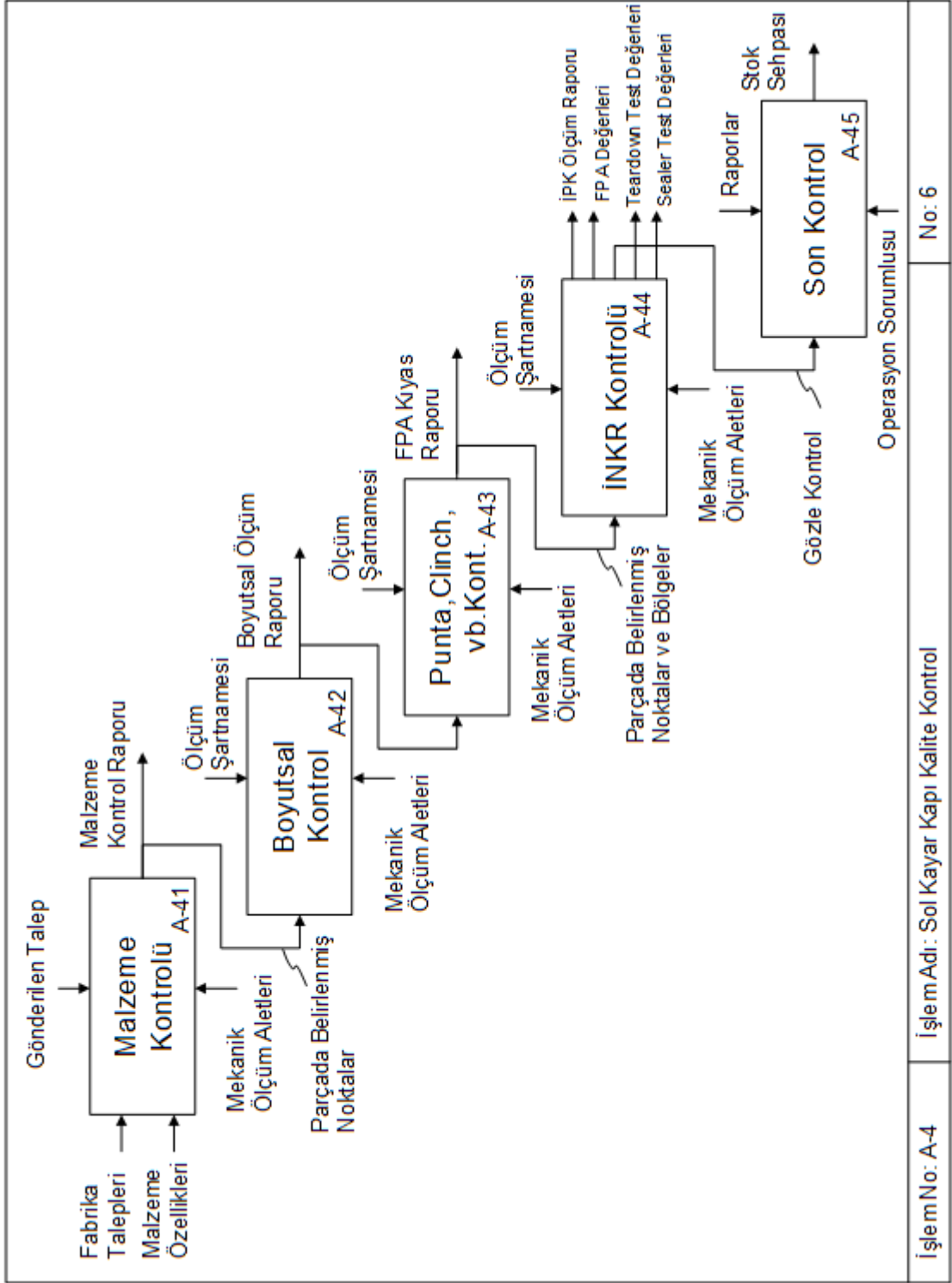
İşlem No: A-1

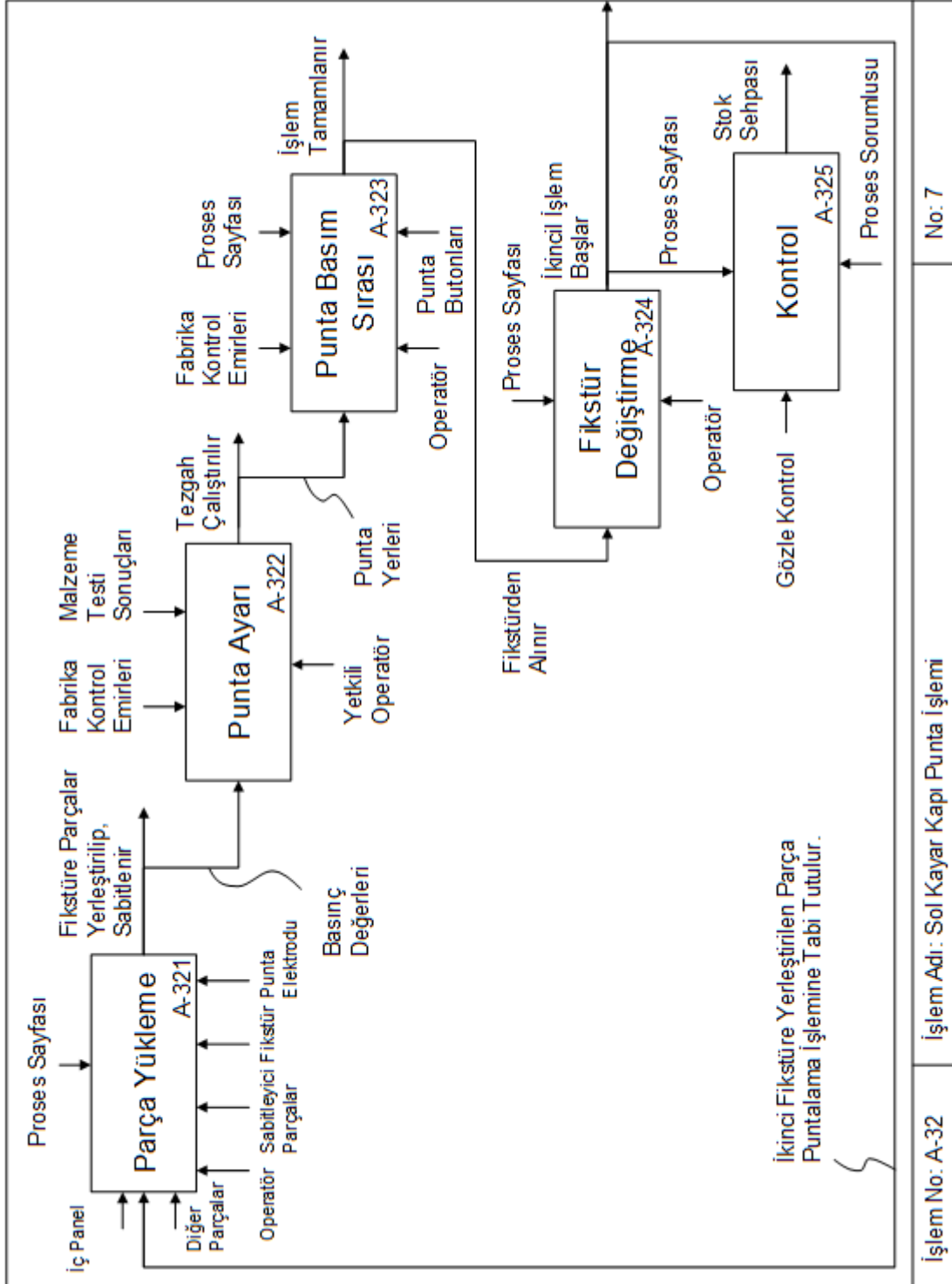
İşlem Adı: Sol Kayar Kapı Tasarımı

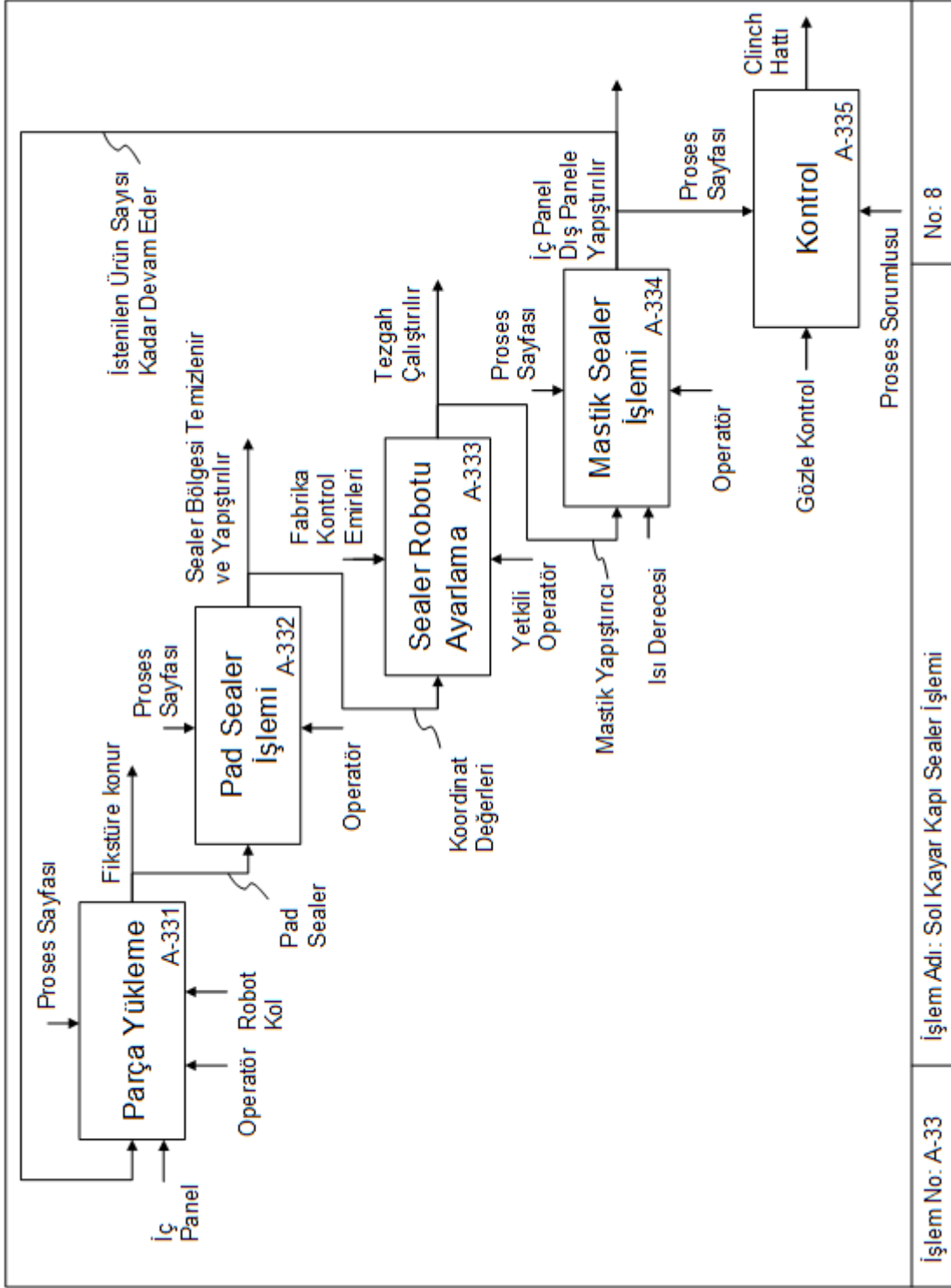
No: 3

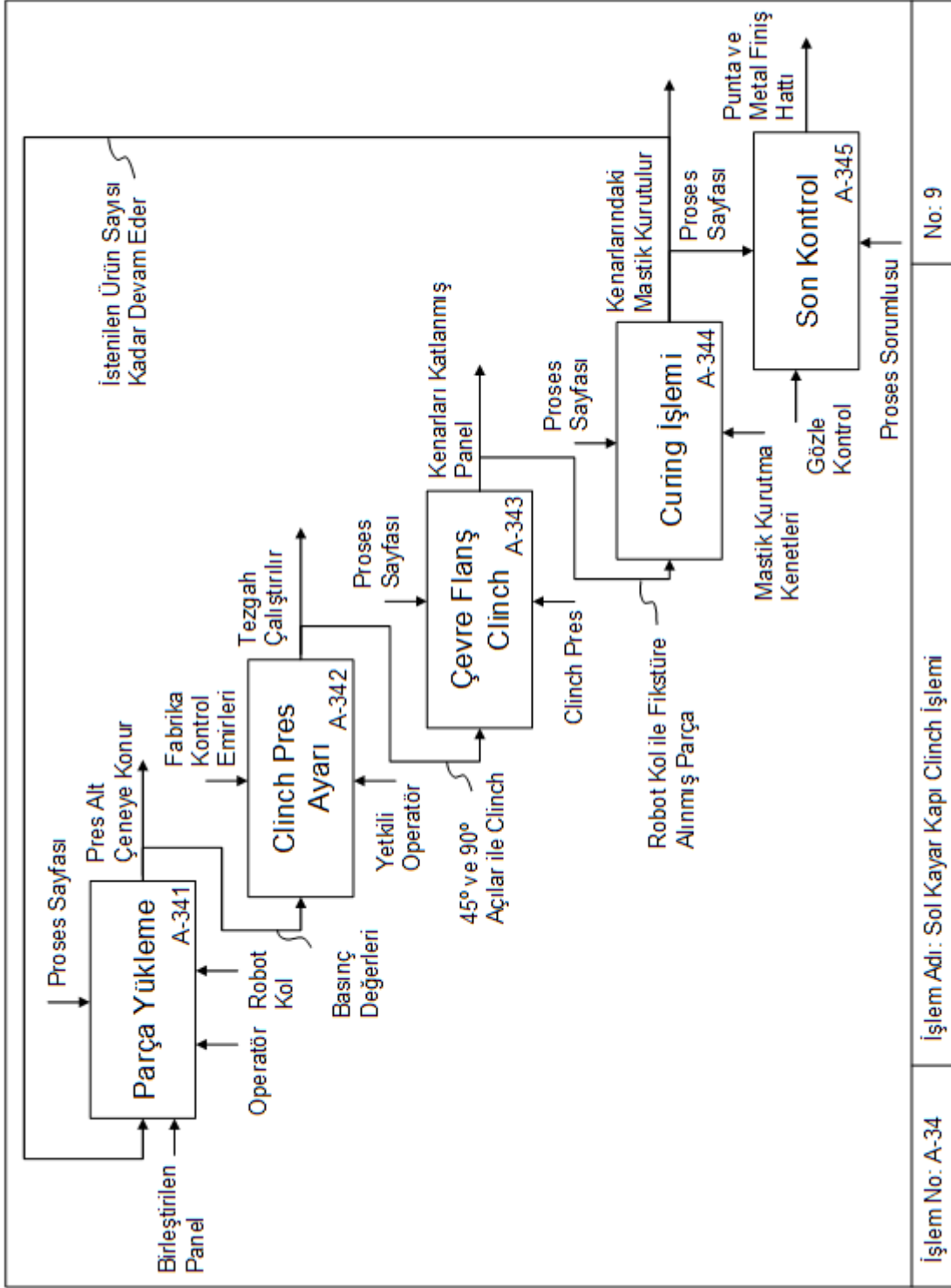


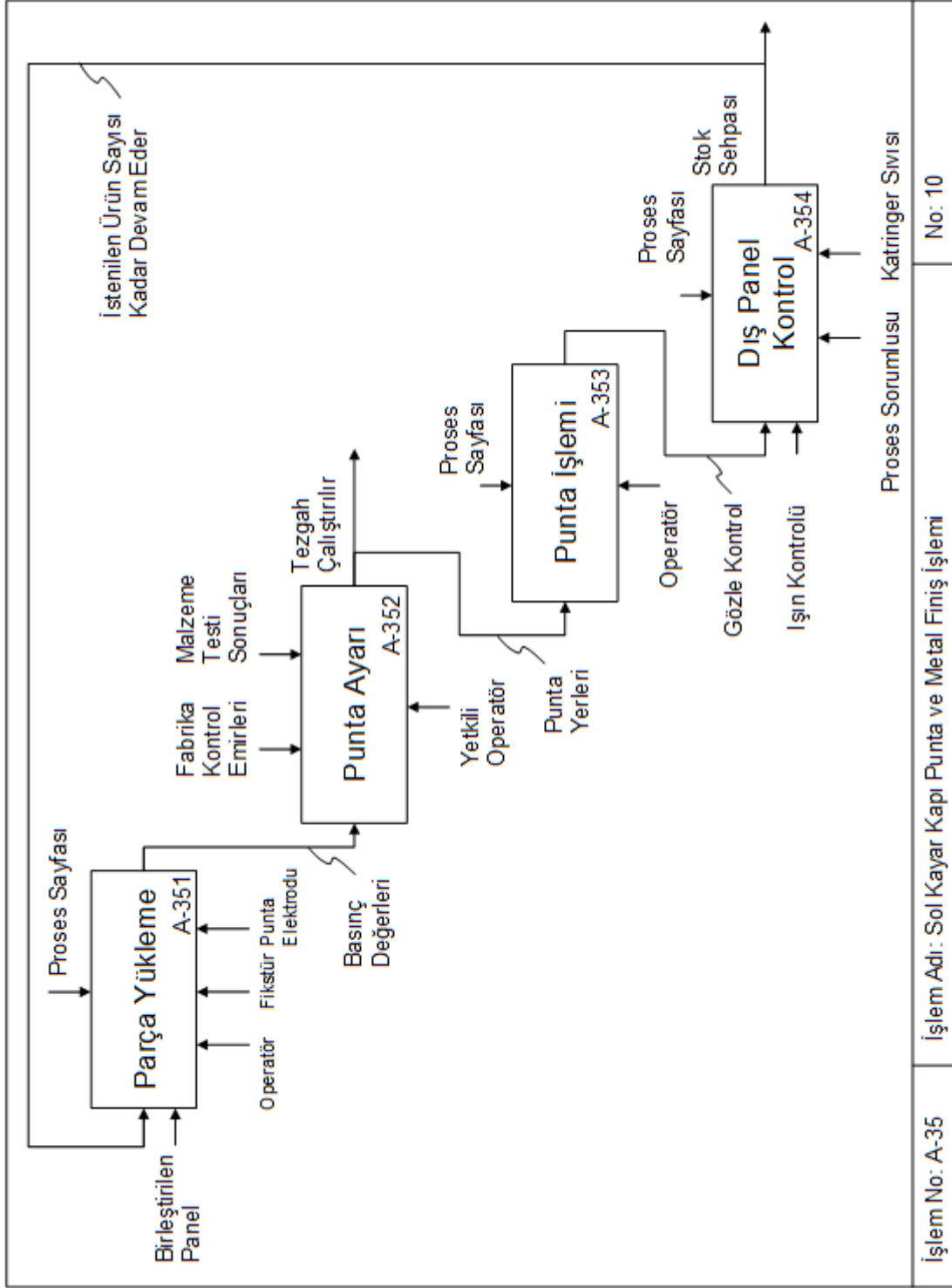










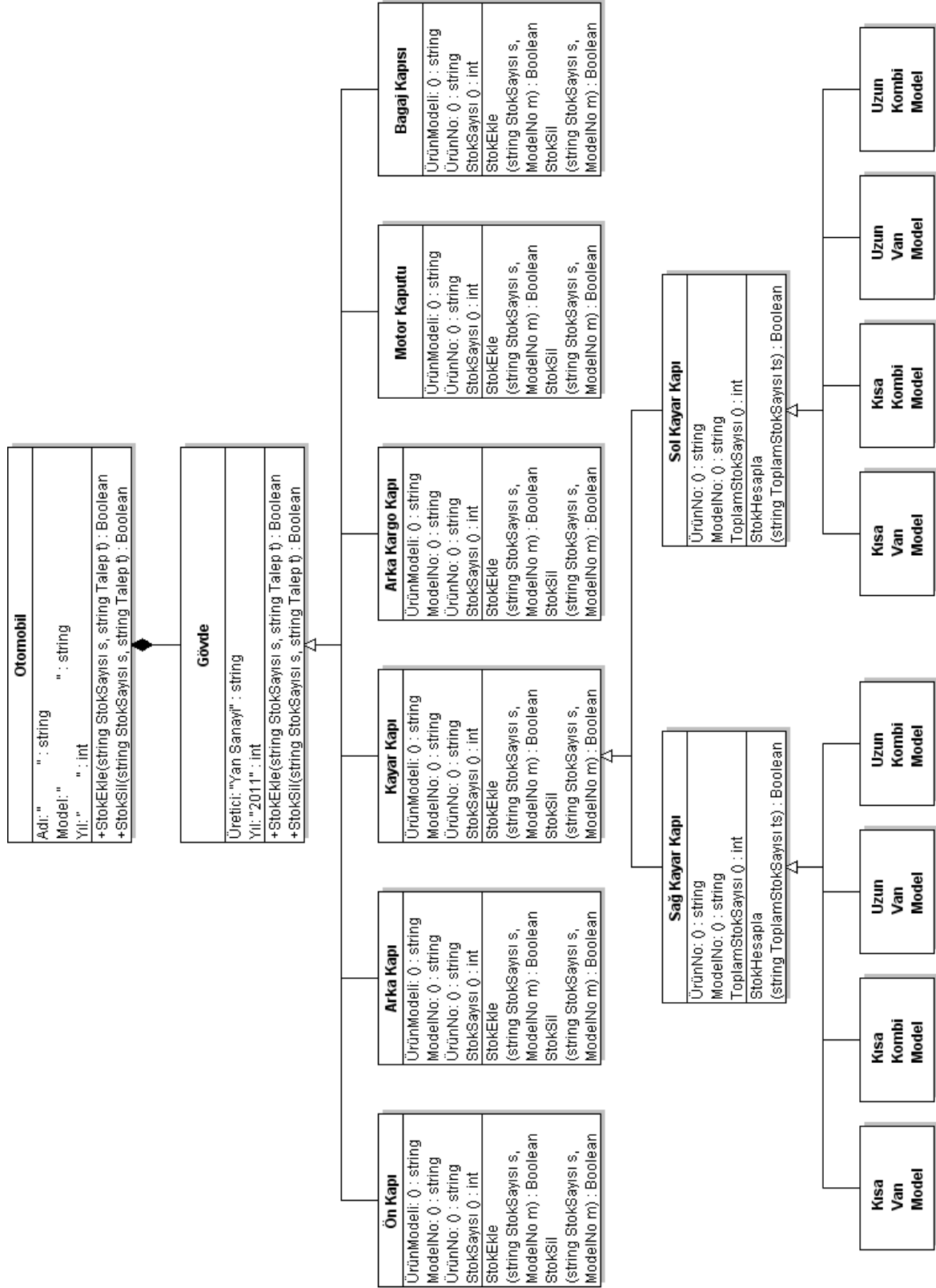


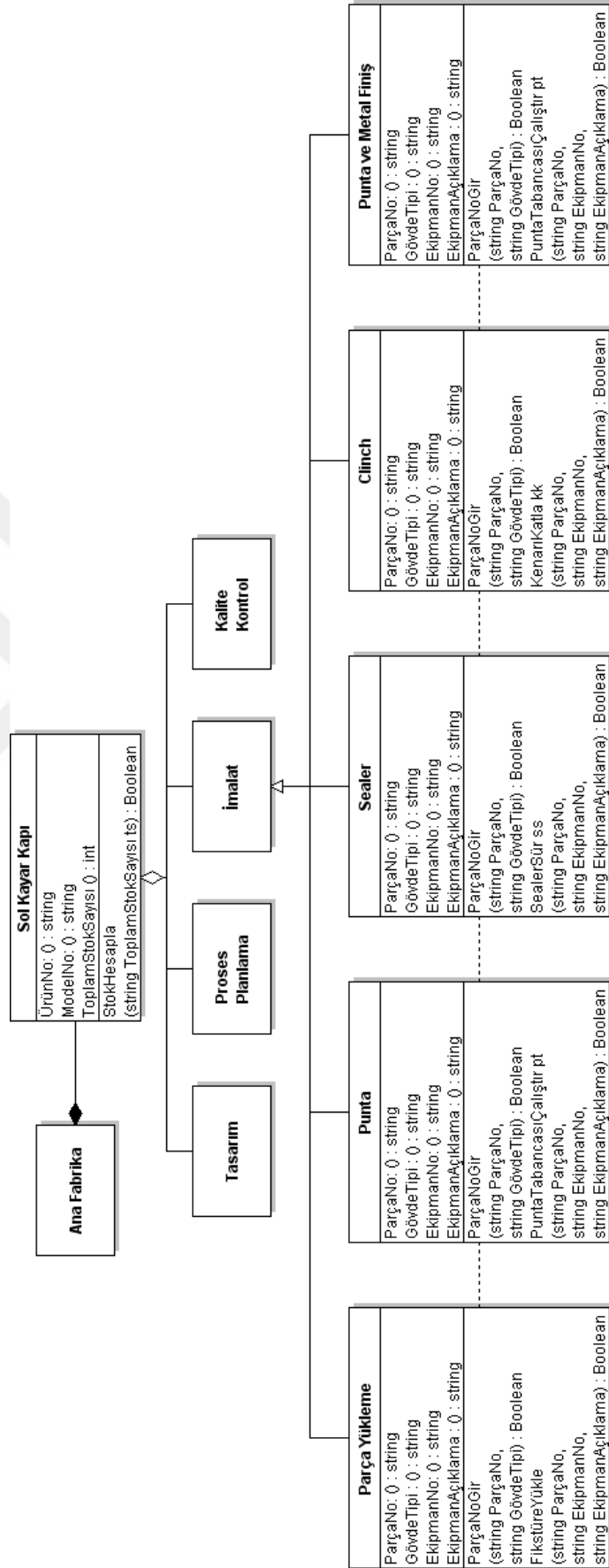
İşlem No: A-35

İşlem Adı: Sol Kayar Kapı Punta ve Metal Finiş İşlemi

Proses Sorumlusu Katranger Sıvısı

No: 10







## KALİTE EVİ SONUÇLARI

Kalite evi oluşturularak üretim sırasında karşılaşılmış olduğumuz hatalar en aza indirildi ve iş öncelik yüzdeleri belirlenerek fabrikanın yeni hat gereksinimleri tanımlanmış oldu. Bunları oluştururken, aşağıdaki veriler göz önüne alındı.

Korelasyonlar:

- + → pozitif ilişki
- → negatif ilişki
- İlişki yok

Seçilen ilişkilendirme değerleri:

- Yüksek değer → 9
- Orta değer → 3
- ▽ Zayıf değer → 1

İyileştirme değerleri:

- ▲ Maksimum değer
- ◇ Hedeflenen değer
- ▼ Minimum değer

Üst kısım verileri:

Ağırlık yüzdesi, bağıl ağırlık, müşteri(fabrika) önem derecesi, max. değer(seçilen ilişkilendirme değeri)

Alt kısım verileri:

Max. değer(seçilen ilişkilendirme değeri), teknik önem derecesi, bağıl önem, önem yüzdesi

$$\text{İyileştirme} = \frac{\text{Kalite düzeyi}}{\text{Fabrika memnuniyeti}}$$

*Mutlak ağırlık = Fabrika önem derecesi x İyileştirme x satış avantajı*

$$\text{Bağıl ağırlık(\%)} = \frac{\text{Seçilen mutlak ağırlık}}{\text{Toplam mutlak ağırlık}} \times 100$$

*Mutlak önem =  $\Sigma$  (Mutlak ağırlık x Seçilen ilişkilendirme değeri)*

$$\text{Bağıl önem(\%)} = \frac{\text{Seçilen mutlak önem}}{\text{Toplam mutlak önem}} \times 100$$

Sonuçlar Excel’de bir şablon üzerinde oluşturulduğu için, hesaplanan veriler şu şekilde gösterilmektedir. Yukarıda gösterilen formül yapısı yazılımda şu şekilde tanımlandı.

Mutlak ağırlık:

$$=E41*BAĞ\_DEĞ\_DOLU\_SAY(\$G\$41:\$H\$56)$$

Mutlak ağırlık = Fabrika önem derecesi x İş gereksinim verileri

Yapılan çalışmada, ilk satır incelendiğinde “Vuruk ve deformasyon olmasın” iş gereksinimi için fabrika önem derecesi 8, toplam fabrika önem derecesi 88 olur. Önem derecesi üretimde gerek duyulan önemin derecesine göre 1 ile 10 arasında belirlendi. Buna göre, formül şu şekilde tanımlandı.

Bağıl ağırlık:

$$=E41*BAĞ\_DEĞ\_DOLU\_SAY(\$G\$41:\$H\$56)/(TOPLAM(\$E\$41:\$E\$56)*BAĞ\_DEĞ\_DOLU\_SAY(\$G\$41:\$H\$56))$$

$$\text{Bağıl ağırlık} = \frac{\text{Fabrika önem derecesi x İş gereksinim verileri}}{\text{Toplam (fabrika önem derecesi x İş gereksinim verileri)}} \times 100$$

Max. değer(seçilen ilişkilendirme değeri):

=EĞER(EĞERSAY(I41:BQ41;"●");9;EĞER(EĞERSAY(I41:BQ41;"○");3;EĞER(EĞERSAY(I41:BQ41;"▽");1;""))

İlişkilendirme değeri, tablonun iş gereksinimi satırında toplam olarak yüksek değer içerisinde varsa 9, orta değer toplamda en büyük ise 3, sadece toplamda zayıf değer varsa 1 değerini alır. Kritik üretim değerleri 1 atanan kısımlarda görülmektedir.

Mutlak önem:

=I58\*BAĞ\_DEĞ\_DOLU\_SAY(\$I\$39:\$BQ\$39)

Mutlak önem = Teknik önem derecesi x Fonksiyonel gereksinim verileri

Teknik önem derecesi:

=100\*TOPLAM(ETOPLA(I41:I56;"▽";\$D41:\$D56)\*1;ETOPLA(I41:I56;"○";\$D41:\$D56)\*3;ETOPLA(I41:I56;"●";\$D41:\$D56)\*9)

Yapılan çalışmada, ilk sütun incelendiğinde "Kontrol planları" fonksiyonel gereksinimi için teknik önem derecesi 338.6, toplam teknik önem derecesi 1618,098 olur. Buna göre, formül şu şekilde tanımlandı.

Bağlı önem:

=I58\*BAĞ\_DEĞ\_DOLU\_SAY(\$I\$39:\$BQ\$39)/(TOPLAM(\$I\$58:\$BQ\$58)\*BAĞ\_DEĞ\_DOLU\_SAY(\$I\$39:\$BQ\$39))

$$\text{Bağlı önem} = \frac{\text{Teknik önem derecesi x Fonksiyonel gereksinim verileri}}{\text{Toplam (Teknik önem derecesi x Fonksiyonel gereksinim verileri)}} \times 100$$

Kalite evini oluşturan üretimi yapılacak iş parçasına ait bir takım gereksinimlere ihtiyaç duyarız. Bunlar, aşağıda belirtildiği üzere fonksiyonel ve iş gereksinimleri olarak ikiye ayrılır.

### Fonksiyonel Gereksinimler:

Kontrol planları  
INKR(İlk numune kabul raporu) kontrolü  
IPK ölçüm raporları  
FPA değerleri  
Teardown test değerleri  
Sealer(mastik) test değerleri  
Punta kontrolleri  
Sealer(mastik) kontrolleri  
Clinch(kenar katlama) kontrolleri  
Boyutsal kontroller  
Lazer yüzey tarama  
Amblaj, kasalama ve taşıma

### İş Gereksinimleri:

Vuruk ve deformasyon olmasın.  
Eksik detay parça olmasın.  
Punta kalitesi istenildiği gibi olsun.  
Eksik punta olmasın.  
Sealer(mastik) kalıntıları olmasın.  
Pres kaynaklı kalıp izi olmasın.  
Clinch(kenar katlama) hatası olmasın.  
Pres kenet dayama izi olmasın.  
Kaynak hatası olmasın.  
Stoklar sehpa yüksekliğini geçmesin.  
Düşük maliyet  
Yüksek üretim kapasitesi

Bu çalışma sonucunda, oluşturulan kalite evi ile imalat sırasında karşılaşılan sorunlar ve gövde panellerinde oluşan deformasyonlar belirlendi.

İş ve fonksiyonel gereksinimler göz önüne alındığında, clinch işlemi kullanılan fabrika hattında sadece punta kaynak, sealer ve clinch hattında minimum iyileştirmeler yapılmaktadır.

Fonksiyonel gereksinimlerin kontrolü sırasında pres kaynaklı kalıp izi orta derecede ilişkilendirilmiş olsa da parça kalitesini belirleyen en önemli unsurdur.

Yapılan kontroller sonrası üretim hattındaki teknik önem derecesi fabrikanın yüksek oranda punta kaynak işlemine odaklandığını gösterdi.

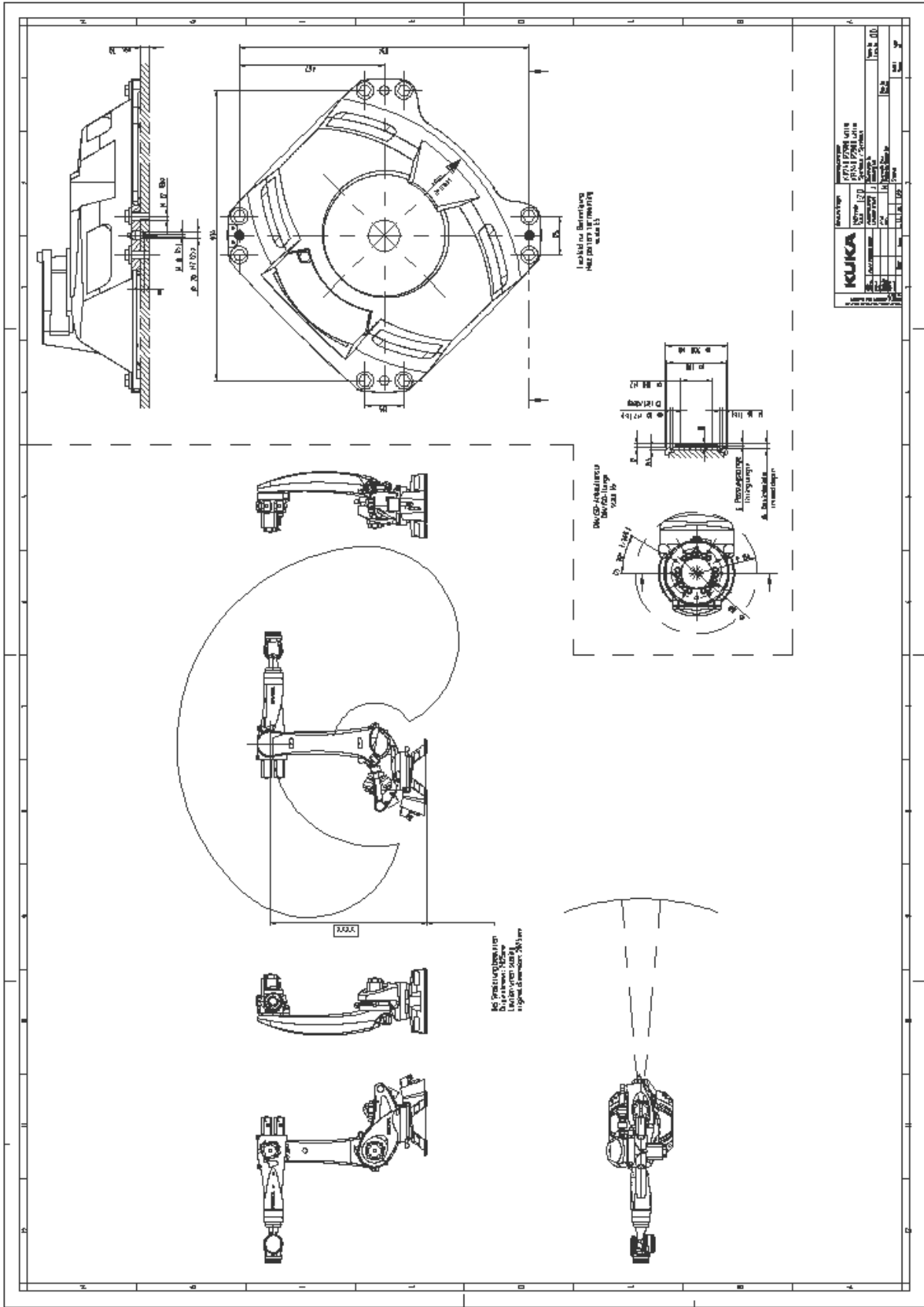
Punta kaynak işlemi için 488.6 önem derecesi ve %31 fabrika işlem ağırlığı ile en yüksek üretim süresi, şirket içi eğitim, revizyon, maliyet vb. değerleri gerektirir.

Clinch işleminde ise, 40.91 önem derecesi ve %3 fabrika işlem ağırlığı ile en düşük değerlere sahiptir.



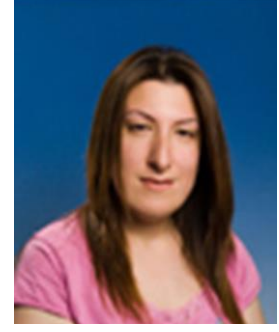






## ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Gülcan SAMAR
Doğum Yeri	İstanbul
Doğum Tarihi	18.06.1984
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	05354170395
E-Posta Adresi	gsam34@hotmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Abant İzzet Baysal Üniversitesi
Fakülte	Teknik Eğitim Fakültesi
Bölümü	Tasarım ve Konstrüksiyon Öğretmenliği
Mezuniyet Yılı	2008

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Makine Mühendisliği

Makale ve Bildiriler	