



İTÜ

MAKİNA FAKÜLTESİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

PLASTİK ENJEKSİYON KALIBI TASARIMI

BİTİRME TASARIM PROJESİ

Hazırlayanlar

030010003

Melih KOÇAK

030010036

Bilen Emek ABALI

Danışman

Yar.Doç.Dr. Vedat TEMİZ

GÜZ

2005-2006

PLASTİK ENJEKSİYON KALIBI TASARIMI

Hazırlayanlar

030010003

Melih KOÇAK

030010036

Bilen Emek ABALI

Danışman

Yar.Doç.Dr. Vedat TEMİZ

GÜZ

2005-2006

Önsöz

Plastik ürünler hayatımızın tartışılmaz birer parçası olmuştur. Enjeksiyon yöntemi de plastik ürünlerin üretiminde en sık kullanılan metottur. Bitirme tasarım projesi, ülkemizde yaygın olarak gerçekleştirilen kalıp tasarımına akademik ortamda, günümüz imkanlarını kullanarak, gerçekçi bir ürünün kalıbının tasarımını ve konstrüksiyondaki adımları, bilgisayar kullanımında gereken bilgi birikimini içermektedir.

Bizleri yetiştiren ve İstanbul Teknik Üniversitesi'nde okumamızı sağlayan, ailelerimiz :

Feridun, Ayşe KOÇAK ve Huri, Ümit GÜMÜŞAY'a

Ertan, Lale, Gülen İpek ABALI'ya ;

bizi hem sürekli araştırmaya iten hem de mümkün olduğunca serbest bırakan, danışmanımız :

Yar.Doç.Dr. Vedat TEMİZ'e ;

kalıbı üretilecek ürünü sağlayan :

Barış KULDAŞLI'ya ;

Kaynaklar bölümünde andığımız kaynaklarda bilgisini paylaşan ve emeği geçen herkese,

teşekkürlerimizi sunuyoruz.

12.2005

Melih KOÇAK
Bilen Emek ABALI

İçindekiler

Önsöz	i
İçindekiler	ii
Plastik Enjeksiyon Kalıbı Tasarımı ÖZET	vi
Giriş.....	1
1 Plastiklerin Genel Özellikleri	2
1.1 Elastomerler	2
1.2 Termosetler	2
1.3 Termoplastikler	2
1.3.1 Sıkça kullanılan mühendislik Termoplastikleri	3
2 Enjeksiyon İşlemi.....	4
3 Kalıplama Makinaları.....	6
3.1 Enjeksiyon Ünitesi	6
3.1.1 RS (Reciprocating Screw) Makinası	7
3.1.2 P (Preplasticizing) Makinası	9
3.1.3 Vida	9
3.2 Kalıp Ünitesi	11
3.3 Kalıp Kapama Mekanizması	11
3.3.1 Mafsal Kilitleme Mekanizması	13
3.3.2 İtici Mekanizması Çevrimi	14
4 Ürün Geometrisi.....	15
5 Malzeme Özellikleri.....	16
6 Kalıp Tasarımı.....	19
6.1 Model Transferi.....	19
6.2 Çekme Payı Girilmesi	19
6.3 Kalıp Ayrım Hat ve Yüzeylerinin Çıkarılması	20
6.4 Kalıp Yüzeylerinin Büyütülmesi.....	20
6.5 Kalıp Gövdesinin Modellenmesi	21
6.6 Hazır Parçaların Seçimi ve Yerleşimi	23
6.6.1 Kalıp Seçimi Kriterleri.....	23
6.6.1.1 Kalıp Malzemesi	23
6.6.1.2 Kalıp Boyutları.....	25

6.6.2	Merkezleme Civataları ve Burçları	28
6.6.3	Sabitleme Civataları	29
6.6.3.1	Vida Açma Tekniği	29
6.6.3.2	Vida Adımı	29
6.6.3.3	Civata Öngerilmesi	29
6.6.3.4	Sıcaklık Etkisi	30
6.6.3.5	Vida İşleme Toleransları (örnek : 12.9 kalitesi)	31
6.6.3.6	Civata Vida Boyu	31
6.6.3.7	Civata Yağlaması	32
6.6.4	Meme Seçimi	32
6.6.5	İticilerin Yerleşimi	33
6.6.6	Kalıp Taşıma Halkaları	33
6.6.7	Kalıp Elemanları Listesi	33
6.7	Soğutma Sistemi Tasarımı	35
6.7.1	Sıcaklık Farkları (ΔT)	36
6.7.2	Isıl İletkenlik	36
6.7.3	Isı-Sıcaklık Etkilenmesi	37
6.7.4	Soğutma Suyu Akışı	37
6.7.5	Analitik Çözüm	37
6.7.6	Mekanik Sınırlamalar	40
6.7.7	FEM ve CFD Yöntemleri ile Analiz	41
6.7.8	Tasarımın CAD Ortamına Aktarımı	42
6.8	Perspektif Görünüm	43
7	Analiz	44
7.1	Mesh İyileştirme	46
7.1.1	Otomatik İyileştirme (Mesh Repair Wizard)	46
7.1.2	Eleman Bazlı İyileştirme	48
7.1.2.1	Aspect Ratio (Basıklık Oranı)	48
7.1.2.2	CAD Hatası ve düzeltme	49
7.1.2.3	Kesişme ve üstüste binme (Intersections & Overlapping)	50
7.1.2.4	Eleman iyileştirme	51
7.1.2.5	Serbest Kenarlar (Free Edges)	51
7.2	Analiz Sonuçları ve İstatistiki Bilgiler	52
7.2.1	Meme Girişi	54

7.2.2	Parametreler	54
7.2.3	Akış Analizi	55
7.2.4	Soğuma Analizi	57
7.2.5	Çarpılma Analizi	58
7.2.6	Enjeksiyon Basıncı Dağılımı	60
7.2.7	Kapama Kuvveti Dağılımı	60
7.2.8	Yorumlar	61
8	Maliyet Analizi	62
9	Sonuçlar	64
10	Kaynaklar	66
11	Ekler	68
11.1	Ek A : Teknik Resimler	68
11.2	Ek B : Katalog Bilgileri	79
11.2.1	Civatalar	79
11.2.2	Sıcak Meme Girişi Seçimi	81
11.2.3	İçten Isıtmalı Sıcak Meme Girişi	82
11.2.4	Meme Burcu ve Uzatması	83
11.2.5	Meme Montaj Şekli	85
11.2.6	Merkezleme Civataları ve Burçları	86
11.2.7	Soğutma Kanalı Tıkacı	88
11.2.8	Soğutma Kanalı Tıkacını Monte Aparatı	88
11.2.9	Soğutma Kanalı Bağlantıları	89
11.2.10	İticiler	91
11.2.11	İtici Plaka Pulları	92
11.2.12	İtici Mili ve Saplamlar	93
11.2.13	İtici Mili Vida Bağlantısı	94
11.2.14	İtici Mili Bası Yayı	95
11.2.15	Kalıp Taşıma Halkaları	96
11.3	Ek C : Mesh sorunları	97
11.3.1	Entity Counts (Varlık Sayısı)	97
11.3.2	Edge Details (Kenar Detayı)	97
11.3.2.1	Free Edges (Serbest Kenarlar)	97
11.3.2.2	Manifold Edges (Katlı Kenarlar)	98
11.3.3	Orientation Details (Yönelim Detayları)	98

11.3.4	Intersection Details (Eleman Kesişmesi)	98
11.3.5	Aspect Ratio (Basıklık Oranı)	98
11.3.5.1	Surface Triangle Aspect Ratio (Üçgen Eleman B. O.)	98
11.3.5.2	Tetra Aspect Ratio (Düzgün Dörtüzlü Eleman B. O.)	99
11.3.6	Match Ratio (Benzerlik Oranı)	99
11.4	Ek D : Detaylı Analiz Sonuçları	99
11.4.1	Dolum, Akış ve Ütüleme Analizi	99
11.4.2	Soğuma Analizi	108
11.4.3	Çarpılma Analizi	113

Plastik Enjeksiyon Kalıbı Tasarımı

ÖZET

Bitirme tasarım projesi, sadece plastik enjeksiyon kalıp konstrüksiyonu hakkında genel bilgiler aktarmaktan öte, bir parça üzerinde uygulanmasını kapsamaktadır. Konstrüksiyon konvensiyonel olarak, basitleştirilmiş hesaplamalar ve tecrübeler ışığında yapılmaktadır ve kalıbın işlevini yerine getirip getirmediği ancak üretime başlanarak denenen ve sınanmaktadır. Bu durum yüksek işleme maliyetlerinin ve parça üretimine kadar geçen sürecin uzun olmasına neden olmaktadır.

Bu denemeler, sınır ve sonlu elemanlar yöntemi gibi matematiksel metotlarla kalıp üretiminden önce yapılabilir. Bilgisayar teknolojisinin gelişmesi, hesaplama kabiliyetlerinin artması ve kurulum maliyetlerinin azalması ile konstrüktöre tasarım esnasında yardımcı olacak bu analiz teknikleri, pratikte de uygulanabilir bir hale gelmiştir. Bu sayede kalıp üretimi süresi ve maliyeti azalmaktadır.

Projede, bahsi geçen yöntemlere dayanan analizler yardımıyla plastik enjeksiyon tekniği ile üretilmek istenen bir parçanın kalıp tasarımı amaçlanmaktadır.

Kalıp tasarımı şekillendirilecek ürünün malzemesine bağlı olarak değişmektedir. Ürün malzemesi olarak seçilen ABS detaylı olarak ve plastiklerin genel yapıları, özellikleri kısaca ele alınmıştır. Enjeksiyon işleminin ve kalıplama makinelerinin anlatıldığı bölümler kalıp tasarımını yönlendirici bilgiler içermektedir ve bu projedeki tasarıma gerekecek nitelikte daraltılmıştır.

Ürünün projeksiyon alanı; duvar kalınlığı ve malzemesinin gerektirdiği enjeksiyon basıncı parametrelerinin belirlediği kapama kuvveti, kullanılacak ekipmanları etkiler. Ürün geometrisi kullanılabilecek en küçük kalıp boyutlarını ve dolaylı olarak plaka sayısını, kalınlıklarını sınırlar. Kalıpta kullanılan parçalar hazır ürünler olarak temin edilebilmektedir. Meme gibi karmaşık yapı ve üretici firmanın ayrıntısını vermediği ürünlerin seçiminde, firmanın kalıplanacak ürünün malzemesi, ağırlığı gibi parametrelere bağlı olarak verdiği tavsiyeler göz önüne alınmıştır. Ürün geometrisi ve enjeksiyon şartları gözetilerek yapılan hesaplamalara ve tecrübelerine dayanarak, temin edilecek parçalar seçilmiştir.

Ürün bir el matkabının gövdesinin bir yarısıdır. CAD ortamında, ürünün kalıp tasarımı CATIA V5 yazılımı ile yapılmıştır ve bütün adımlar, karşılaşılan sorunların muhtemel nedenleri ve çözüm önerileri anlatılmıştır. Tasarımın CAD ortamında yapılması ile çekme payı hesaplamaları ve kalıbın çalışmasına engel olabilecek konstrüktif hatalar kolayca öngörülmüştür. Hazır parça üreticileri, ürünlerini kullanıcıya dijital kataloglar halinde sunmaktadırlar. Tasarımı CAD ortamında yapmak, hazır parçaların yerleştirilmesini kolaylaştırmış ve tasarım sürecini kısaltmıştır.

Enjeksiyon çevriminin en uzun zaman dilimi kalıbı dolduran eriyiğin soğutulmasıdır. Bu yüzden bir parçanın üretim zamanını en çok etkileyen aşaması soğutma sistemi tasarımıdır. Kanal boyutlandırması, kalıp ve plastik malzeme ısı özellikleri, ortam koşulları ve üretim hassasiyetine dayanan, tasarımın verimliliğini dolayısı ile soğutma zamanını etkileyen birçok parametre vardır. Tüm bu parametreleri belirleyebilmek ve içerebilecek bir formül yaratmak imkansızdır, ancak bazı yaklaşımlar ve ampirik sonuçlara dayanan tecrübeler bulunmaktadır. Bu bilgiler ile tasarlanan soğutma

kanalları, CFD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) metoduna dayanan MOLDFLOW PLASTICS INSIGHT V5 yazılımı aracılığı ile denenmiş ve geliştirmeler yapılmıştır. Eriyiğin kalıba dolması, akış, ürünün mekanik özelliklerini etkilemektedir. Akış analizi yapılmış ve olası sorunlar incelenmiştir. Ürünün, kalıptan çıktığında değişik noktalarının farklı sıcaklıklara sahip olması, iç gerilmeleri tetikleyecek ve çarpılmalar oluşacaktır. Etkin soğuma, çarpılmayı da azaltmaktadır. Çarpılma analizi FEM (Sonlu Elemanlar Yöntemi) ile yine MOLDFLOW programına çözdürülmüştür. Metodun kullanımı çok önemlidir. Analiz yapan programların matematiksel altyapısını algılayıp, parametrelerin seçilmesinde gösterilen özen, gerçeği yansıtan sonuçlar alınmasının tek şartıdır. Programın kullanımından öte, girilen değerler ve analizin matematiksel altyapısını etkileyen seçenekler, bunların etkileri anlatılmıştır.

Giriş

Birçok alanda kullanım olanağı bulan plastik malzemeler, metallerle ve seramiklerle rekabet edebilen önemli mühendislik malzemeleri haline gelmiştir. Isıl ve elektriksel yalıtımı, dayanım/hafiflik oranının yüksekliği, kimyasal aşınmaya yüksek dayanımı, düşük maliyetli üretim gibi özelliklere sahip olan plastikler ambalaj sanaayinden uçak endüstrisine, tıbbi cihazlardan mutfak gereçlerine çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır.

Plastik üretiminde en önemli hammadde petroldür. Plastiklerin yapı elemanlarının oranları değiştirilerek ve çeşitli katkı maddeleri eklenerek (cam elyafı, karbon, bronz, alümina, talk, vb.) mekanik özelliklerinde değişimler sağlanabilmektedir ve metal malzemelere alternatif oluşturmaktadırlar.

Enjeksiyon ile üretim tekniği, seri üretime uygunluğu ve ürün geometrisinde sınırlandırmaların az olması nedeni ile en sık kullanılan plastik şekillendirme yöntemidir.

1 Plastiklerin Genel Özellikleri

Plastikler normal sıcaklıkta genellikle katı halde bulunan, basınç ve sıcaklık altında kalıplanabilen organik polimer malzemelerdir. Plastik adını kendine özgü mekanik özelliklerinden dolayı almaktadırlar. Metalik malzemelerle karşılaştırıldıklarında kendilerine özel ve büyük değişiklikler gösterirler. Gerilimlere hassastırlar. Sıcaklık duyarlılıkları metallere nazaran çok yüksektir. Plastikler kimyasal yapı olarak bir birileri ile zincirsel bir bağlanma gösteren çok sayıdaki “Mer” molekülünden oluşurlar. Bu birçok yapı poly (latince çok) öneki ile polimer adını alır ve uzun moleküllerden oluşur. Polimerlerin farklı kimyasal yapılarından dolayı plastikler farklı fiziksel özellikler gösterirler.

Plastikler üç temel gruba ayrılırlar:

Elastomerler (elastoplastikler)

Termosetler

Termoplastikler

1.1 Elastomerler

Molekül yapısı ağ şeklinde plastik malzemelerdir. Bu yapı malzemeye esneklik, yumuşaklık ve sıkışabilirlik sağlar.

1.2 Termosetler

Üç boyutlu ağ yapısına sahiptirler. Makromoleküler yapısı kuvvetli bağlarla desteklenmiştir. Yumuşama sıcaklığı bozunma sıcaklığından yüksek olduğundan şekillendirilmek üzere bir kere ısıtıldıklarında polimerleşmeleri artar ve büyük ölçüde çapraz bağlar oluştururlar. Dolayısıyla bir kere ısıtıldıklarında geri dönüşüm imkanları kaybolmaktadır.

1.3 Termoplastikler

Termoplastiklerin kimyasal yapısı birbirine çapraz bağlarla bağlı olmayan uzun tel şeklindeki moleküllerden meydana gelmiştir. Camlaşma sıcaklığının üstünde yumuşarlar daha yüksek sıcaklıklarda ise bozulmadan sıvılaşır. Camlaşma

sıcaklığının alt sınırlarında ekstrüzyon, haddeleme, basma; üst sınırlarda ise kaynak; sıvılaşma sıcaklığının üstünde enjeksiyon gibi işlemlerle şekillendirilebilirler.

Düşük yoğunluk, iyi elektriksel özellikler, kolay şekillendirilme, nispeten düşük aşınma, kolay şekillendirilme ve renklendirilme olumlu özelliklerindendir. Bunun yanında düşük elastisite modülü (yük altında düşük elastisite, plastik bölgeye kolay geçiş) , düşük sıcaklık dayanımı, yüksek ısı genleşme katsayısı dezavantaj oluşturan özellikleridir. Fakat üretim kolaylığı açısından, farklı malzemelerle takviyeli kullanım (dayanım özelliklerinde iyileşme) yaygındır.

1.3.1 Sıkça kullanılan mühendislik Termoplastikleri

Akrilonitril Butadien Stiren (ABS)

Poliamid (PA – Nylon)

Polietilen (PE)

Düşük Yoğunluklu Polietilen (AYPE)

Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE)

Çok yüksek Mol Ağırlıklı Polietilen

Polikarbonat (PC)

Polipropilen (PP)

Polivinil Klorid (PVC)

Polimetil Metakrilat (PMMA)

Poliasetal (POM)

Termoplast Poliesterler (PET/PBT)

Polisülfon (PSU)

2 Enjeksiyon İşlemi

Enjeksiyon, ham plastik malzemenin eritilerek kalıba basılması işlemidir. Burada plastik soğuyarak kalıbın şeklini almaktadır. Plastik malzemeyi belirli bir sıcaklığa kadar ısıtıp kalıba enjekte eden, malzemenin dolmasından sonra onun soğumasını temin eden mekanizmayı destekleyen, donduktan sonra kalıptan çıkarılmasını sağlayan mekanizmayı içeren makineler enjeksiyon makineleri olarak bilinir.

Enjeksiyon makinesinde, uygulanan kaplama kuvveti ve basılan plastik miktarı makinenin sınıflandırılmasını sağlayan iki önemli parametredir. Kapama kuvveti 10 ton ile 5000 ton arası değişirken, basılabilen plastik miktarı birkaç gramdan 40 kilograma kadar çıkabilmektedir [1].

Enjeksiyon kalıplamanın önemli avantaj ve dezavantajlarını şöyle sıralayabiliriz [2]:

Avantajları

1. Yüksek üretim hızlarına ulaşılabilmesi,
2. Yüksek miktarda üretimi mümkün kılması,
3. Parça başına nispeten düşük işçilik maliyeti,
4. Yöntemin otomasyona yüksek hassasiyeti,
5. Parçaların son işlem gerektirmemesi veya çok az gerektirmesi,
6. Çok çeşitli yüzey ve renk olanakları,
7. Birçok parça geometrisinin bu yöntem ile ekonomik olarak üretilebilmesi,
8. Diğer yöntemlerin kullanılamayacağı kadar küçük parçaların üretimine izin vermesi,
9. Yolluk, iticilerin farklı kalıplar için kullanılabilmesi,
10. Bazı durumlarda makine veya kalıp değiştirmeden aynı parçanın farklı malzemeler ile kalıplanabilmesi,
11. Hassas geometrik toleransların elde edilebilmesi,
12. Parçaların metal veya metal olmayan eklentiler ile birlikte kalıplanabilmesi,
13. Parçaların plastikle beraber cam, karbon gibi malzemelerin karıştırılarak kalıplanabilmesi,

1 **Ö. Purde, D. Özden**, 2005, Plastik Enjeksiyon Kalıbı, Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Bölümü Lisans Bitirme Tezi, [elektronik versiyon]

2 **I. I. Rubin**, 1972, Injection Molding Theory and Practice, John Wiley & Sons, sayfa 2

14. Malzemenin doğasında var olan yüksek dayanım-ağırlık oranı, kimyasal aşınmaya dayanıklılık, dayanım ve saflık gibi özellikleridir.

Dezavantajları

1. Yoğun endüstriyel rekabetin sıkça düşük kar oranları ile sonuçlanması,
2. Rekabet edebilmek için genellikle üç vardiya çalışması,
3. Kalıp maliyetinin yüksek olması,
4. Kalıplama makinesinin ve yardımcı teçhizatın maliyetinin yüksek olması,
5. İşlemin kontrolünün zayıf olabilmesi,
6. Makinenin kontrol parametrelerinin son ürünle doğrudan ilişkili olmamasından dolayı, makinenin tutarsız çalışması,
7. Kötü işçiliğe duyarlı olması,
8. Kalitenin genellikle anında belirlenmesinin zor olması,
9. Yöntemin temelleri hakkında bilgi eksikliğinin sorunlara yol açması,
10. Malzeme özelliklerinin uzun vadeli özellikleri hakkında bilgi eksikliğinin uzun vadede hatalarla sonuçlanabilmesidir.

3 Kalıplama Makinaları

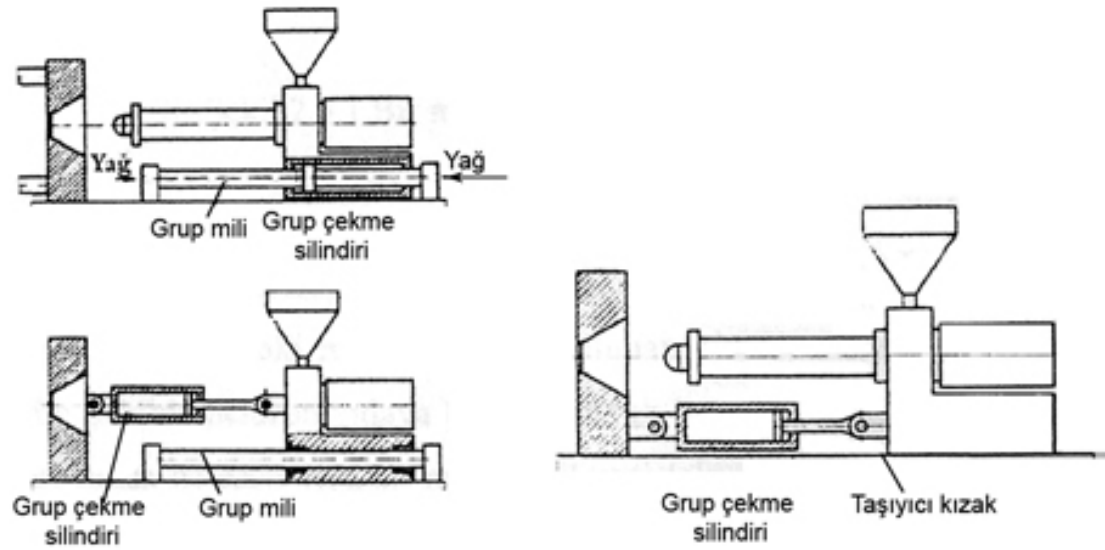
Enjeksiyon kalıplama makinası temel üç kısımdan oluşmaktadır:

Enjeksiyon Ünitesi

Kalıp Ünitesi

Kalıp Kapama Mekanizması

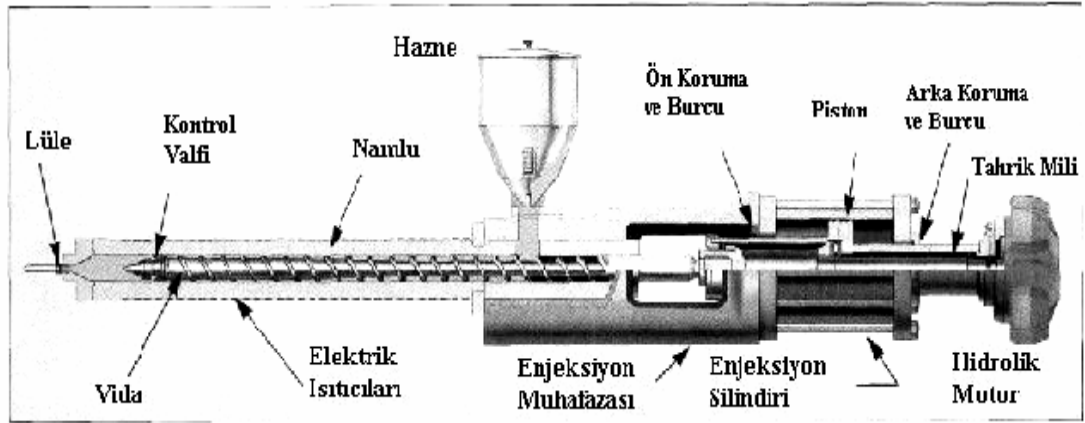
3.1 Enjeksiyon Ünitesi



Şekil 3-1 Şematik Enjeksiyon Ünitesi

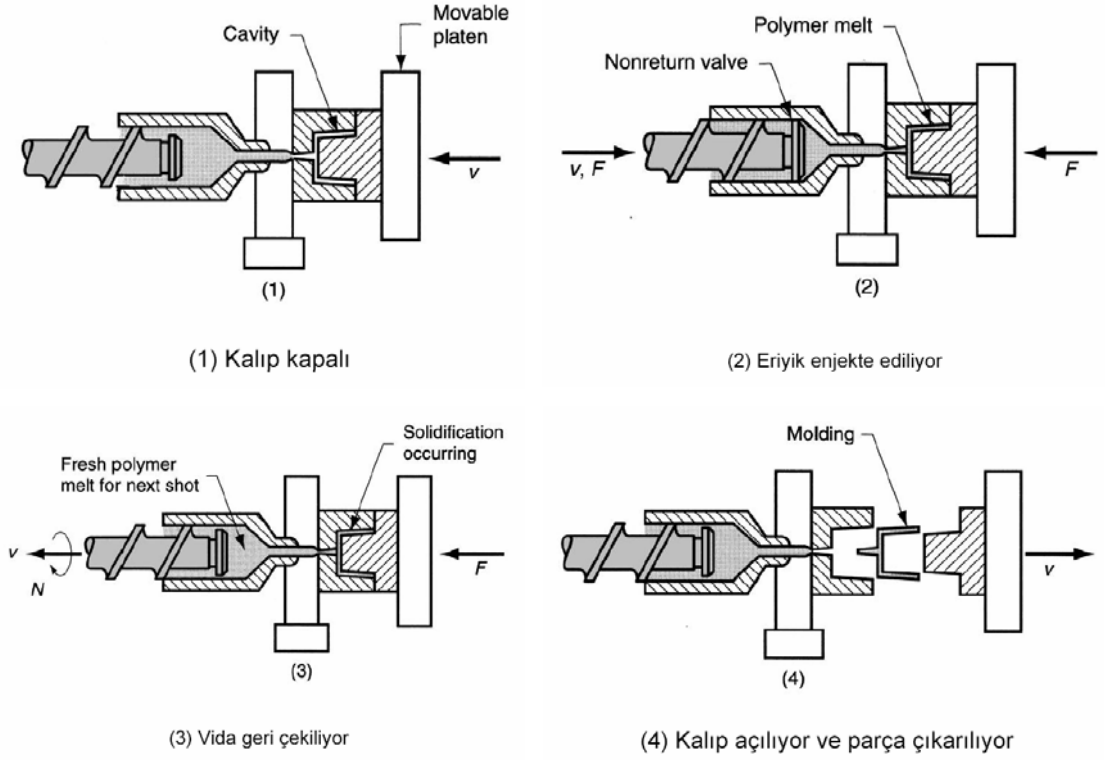
Enjeksiyon ünitesi olarak da adlandırılan grup ünitesi (bkz. Şekil 3-1) malzemeyi ergitip, kalıbın içine enjekte edebilecek basıncı sağlayan aksamı barındırır. Vida, vidanın içinde bulunduğu etrafı ısıtıcılarla çevrilmiş olan namlu, vidayı döndüren hidrolik motor veya elektrik motoru, erimiş malzemeyi kalıba basan enjeksiyon silindiri ve hammadde doldurulan hazneden oluşmuş olan grup, grup çekme silindiri tarafından kalıbın sabit plakasındaki enjeksiyon deliğine doğru itilerek ayarlanabilir bir baskı kuvveti oluşturulur. Eğer bu baskı kuvveti olmazsa plastik, meme ve namlu arasından dışarı akar. Ayrıca memenin temizlenebilmesi için grubun geri çekilmesinde de grup silindiri kullanılır. Farklı grup ünitesine sahip iki tip makine mevcuttur [3].

3.1.1 RS (Reciprocating Screw) Makinası



Şekil 3-2 Enjeksiyon makinesi, enjeksiyon ünitesi görünümü

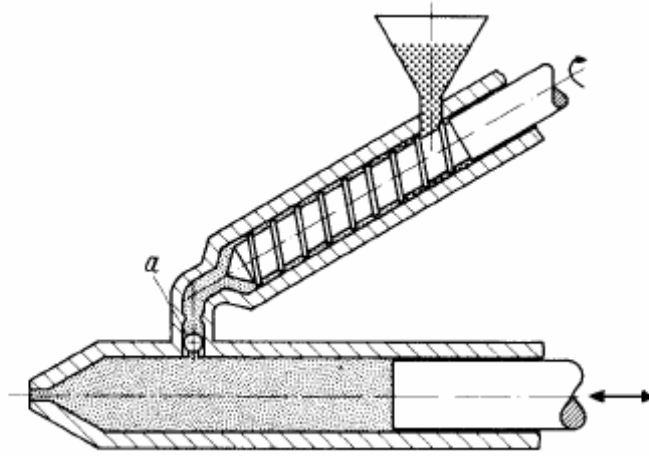
Şekil 3-2’de görülen vidalı enjeksiyon makinesinde, vida hem plastiği eritmek için hem de erimiş halde vidanın önünde biriktirilmiş plastiği kalıba basmak için kullanılır. Hazne, genellikle granül haldeki ham plastiği depolar ve vidaya boşaltır. Plastiğin, hazneye konmadan önce nemden arındırılması gerekmektedir. Vida, hidrolik bir motor tarafından tahrik edilerek namlu içinde döner. Dönme esnasında vida yüzeyi ile namlunun yüzeyi arasında kalan plastik granüller birbirleri üzerinde kayarken sürtünerek ısı açığa çıkar. Fakat bu ısı yeterince plastiği eritmediğinden namlu etrafına yerleştirilmiş olan ısıtıcılardan faydalanılır. Vidanın önünde yeterince plastik birikince vida dönmeyi bırakır. Vidanın ucundaki çek valf kapanarak eriyiğin geri kaçmasına engel olur. Enjeksiyon lülesi olarak da anılan meme, namlu ile kalıp yolluk burcu girişini birleştirir. Genellikle küresel şekilli uç tam oturma ve merkezleme sağlaması için tavsiye edilir. Eriyik enjeksiyon silindiri hareket ettirilerek kalıba doldurulur. Kalıp tamamen dolmasına rağmen enjeksiyon silindiri halen belli bir basınç altında tutmaya devam eder. Bu sayede kalıp içindeki plastik soğurken çekmeden dolayı oluşan boşluklara bir miktar daha erimiş plastik basılır. Bu işleme ikinci basınç, bekletme basıncı veya ütüleme denir. Kalıp içindeki plastik soğumaya devam ederken vida bir sonraki çevrim için plastik eritmeye başlar. Aşağıda (bkz. Şekil 3-3) bir çevrimin şematik gösterimi bulunmaktadır.



Şekil 3-3 Enjeksiyon İşleminin en genel anlamda şematik gösterimi [4]

Görüldüğü üzere farklı anlarda farklı kontroller gerekmektedir. İlk aşamada (kalıp kapatılırken), hareketli plakanın hızı kontrol edilir. İkinci aşamada (enjeksiyon esnası) kapama kuvveti ve kalıp doluncaya kadar akış hızı, dolduktan sonra ütüleme boyunca ise basınç kontrol edilir. Üçüncü aşamada ise, kalıp içerisindeki plastik soğur iken, bir sonraki çevrim için vida dönüş hızı kontrolü ile gerekli miktardaki eriyik vida önüne biriktirilir. Dördüncü aşamada hareketli plaka ve itici plakaları hız kontrolü ile kalıp açılır.

3.1.2 P (Preplasticizing) Makinası



Şekil 3-4 Vidalı ön eritme ünitesi olan pistonlu bir enjeksiyon makinası a)Geri tepme ventili [5]

Ayrı bir odada vida tarafından eritilip enjeksiyon için hazırlanan plastik, hidrolik silindire bağlı bir piston kullanılarak kalıba doldurulur (bkz. Şekil 3-4). Plastiği eritme prensibi aynı olmakla birlikte ön eritmeli makinelerin bazı avantaj ve dezavantajları vardır:

Avantajları:

1. Karışımın daha homojen olarak biraz daha düşük sıcaklıkta basılabilmesini (sıcaklığa duyarlı malzemelerin kalıplanmasında faydalıdır) sağlar.
2. Büyük çaplı pistonlar kullanılarak kısa bir stroke ile büyük enjeksiyon hacimlerini basmayı olanaklı kılar.
3. Vidanın çevrim boyunca daha fazla çalışabilmesi saatte daha fazla plastik eritmesine izin verir.

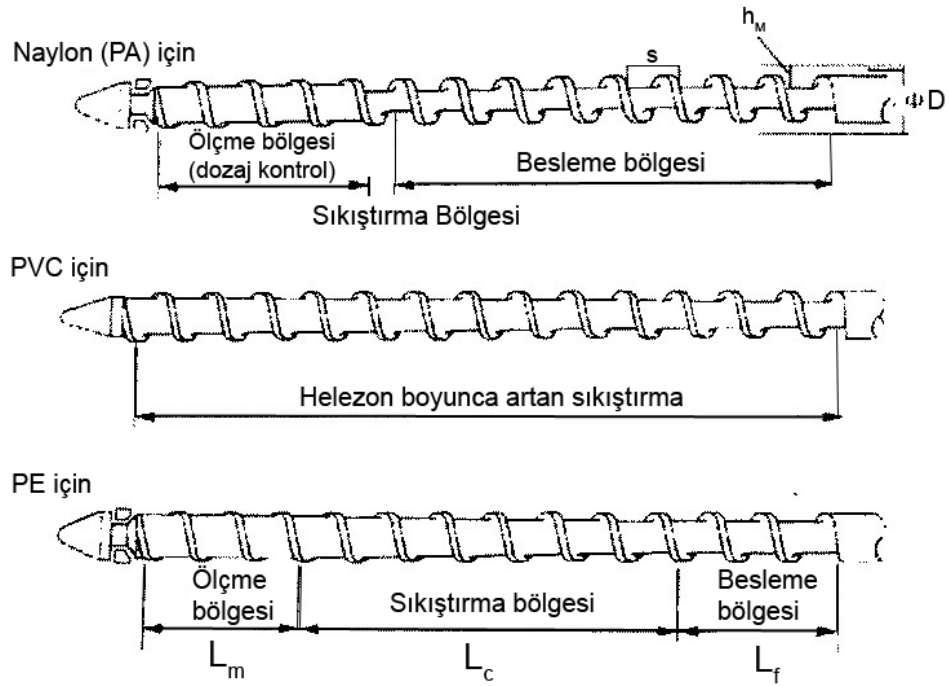
Dezavantajları:

1. Daha fazla bakım gerektirir.
2. Hem vidanın hem de enjeksiyon pistonun etrafını ısıtmak için daha fazla ısıtıcı gerekir.

3.1.3 Vida

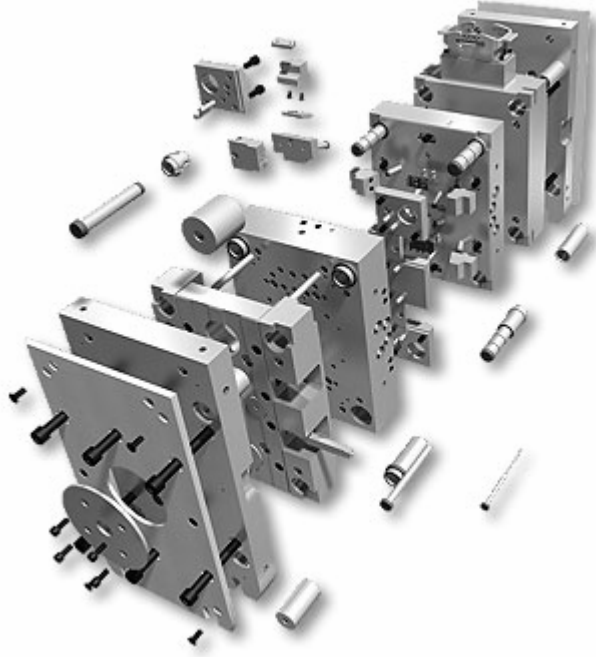
Vidalar uzunluklarının çaplarına oranlarıyla tanımlanırlar. Vidalar kullanılacak malzemeye göre çeşitlilik gösterse de vidalar üç bölgeden oluşurlar (Şekil 3-5) [6]:

1. Besleme bölgesi: Tanecikli halindeki katı malzeme sıkıştırma bölgesine iletilir. Akış derinliği h_m düşük yoğunluktaki malzemeyi yeterli akış sağlayabilmek oldukça geniş tutulmuştur.
2. Sıkıştırma bölgesi: Malzeme sıkıştırılarak eritme işleminin büyük bölümü gerçekleştirilir.
3. Ölçme bölgesi: Eritme işlemi tamamlanarak erimiş malzeme vidanın ön tarafına itilir. Vida, biriken malzemenin karşı basıncı ile kalıbı doldurmak için yeterli miktarda malzeme birikinceye kadar geri itilir. Bu karşı basınç değeri enjeksiyon silindirin yağının basıncı ayarlanarak elde edilir.



Şekil 3-5 Çeşitli vida tasarımları

3.2 Kalıp Ünitesi



Şekil 3-6 Örnek bir kalıp fotoğrafı [7]

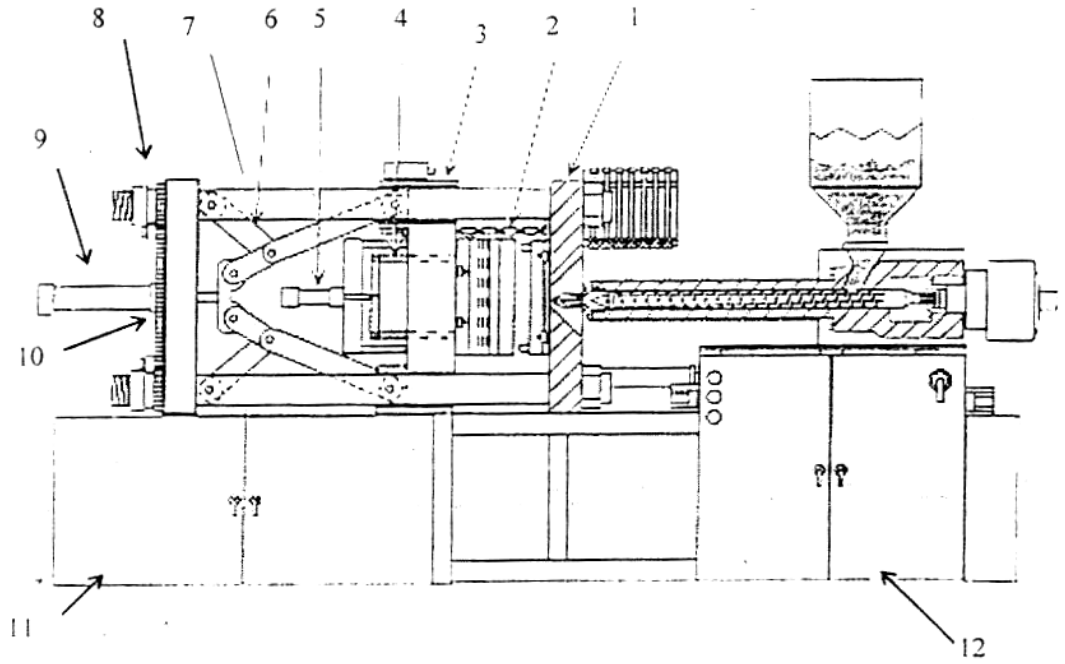
Erimiş plastiğin içine basılarak şekil aldığı kısımdır. Şekil 3-6’te, projede de kullanılan tarzda bir kalıp fotoğrafı, patlatılmış montaj resmi halinde gösterilmektedir. Ürünün geometrisine göre çok çeşitlilik gösterebilen kalıplar, kendi başına bir ihtisas konusudur. Kullanılan parçalar gerek malzemeleri gerekse hassas işlenme gereksinimleri dolayısı ile yüksek maliyetlidir. Modern teknoloji ile üretimden önce bir çok etkiyi sınamak ve en doğru kalıbı tek seferde tasarlamak mümkündür.

3.3 Kalıp Kapama Mekanizması

Kalıbı taşıyan ve üzerinde kalıbı açıp kapatabilecek, kapandıktan sonra kalıplama basıncını sağlayabilecek, iticileri harekete geçirebilecek, kalıbın soğutma kanalları için su takviyesi ve tahliyesi yapabilecek mekanizmaları içerir.

Şekil 3-7’te bir enjeksiyon makinası şematik olarak gösterilmektedir.

7 Hasco markası resmi internet sitesi, <http://www.hasco.com/www/main.html>



Şekil 3-7 Enjeksiyon makinası kalıp kapama ve itici mekanizması şematik gösterimi

Sabit plaka (1) sabit kalır ve enjeksiyon lülesi plakanın üzerine gelerek sabitlenir. Sıcak yolluklu kalıplarda sabit plakanın soğutulması gerekir.

Hareketli plaka (3) kalıbın diğer yarısının bağlandığı plaka olup kilitleme silindiri ile (9) kapanmayı gerçekleştiren hareketi yapar, enjeksiyon sırasında gerekli basıncı sağladıktan sonra kalıpların açılmasını engeller.

Kilitleme mafsalı (6) kilitleme silindiri tarafından sağlanan basıncı enjeksiyon boyunca kalıba uygular.

İtici mekanizması (4) bağımsız olarak hareket eden hidrolik şahmerdanın yatay hareket kazandırması sonucu kalıbın itici plakalarına etki eder.

Güvenlik bariyeri (2) operatör emniyetini sağlar.

İtici silindiri (5) itici plakasını tahrik eden hidrolik şahmerdandır.

Silindirik kolonlar (7) sabit ve hareketli plakaların birbirine merkezlenmesini sağlar.

Kolon ayarı (8) yüksek basınçlara maruz kalan silindirik kolonlardaki uzamayı telafi etmek için kullanılır

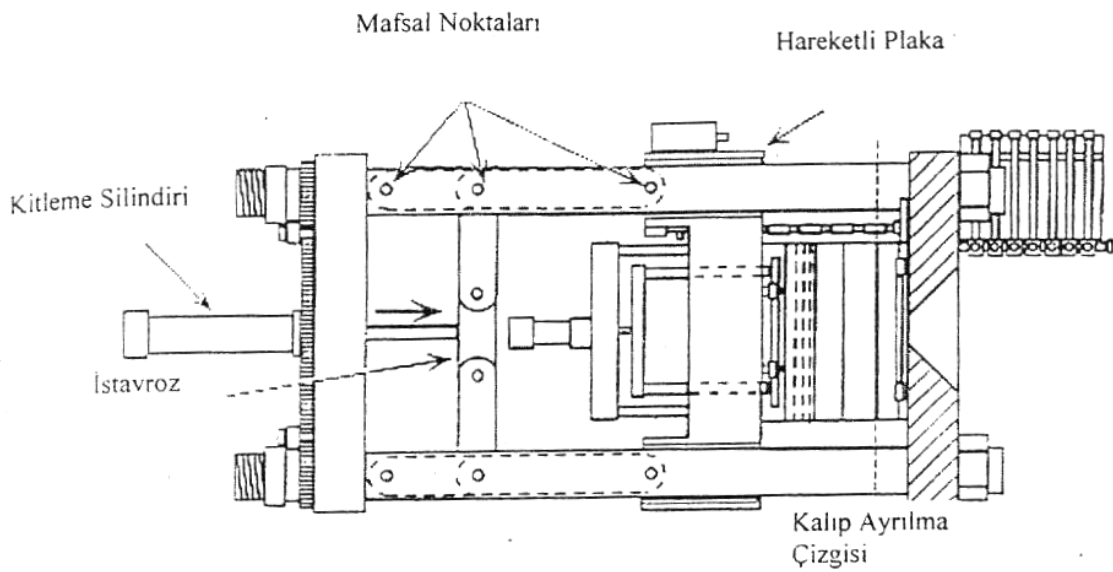
Dairesel kitleme ayar dişlisi (10) üzerindeki dişli ve cıvata mekanizması yardımıyla silindirik kolonları hareket ettirir.

Çalıştırma ünitesi (11) enjeksiyon makinesi motorları, pompaları, selonoid valfleri, hidrolik depoları içerir.

Kontrol paneli (12) enjeksiyon makinesi elektronik devreleri ve işlem kontrol mekanizmalarını içerir.

3.3.1 Mafsal Kilitleme Mekanizması

Günümüzde enjeksiyon makinelerinde, kilitleme sistemi olarak en fazla kullanılan mekanizmadır. Hidrolik kilitlemeli mekanizmalara göre, ucuz ve işletim maliyetleri ucuzdur. Bunun sebebi kullandıkları daha küçük pompa ve hidrolik silindirlerdir.

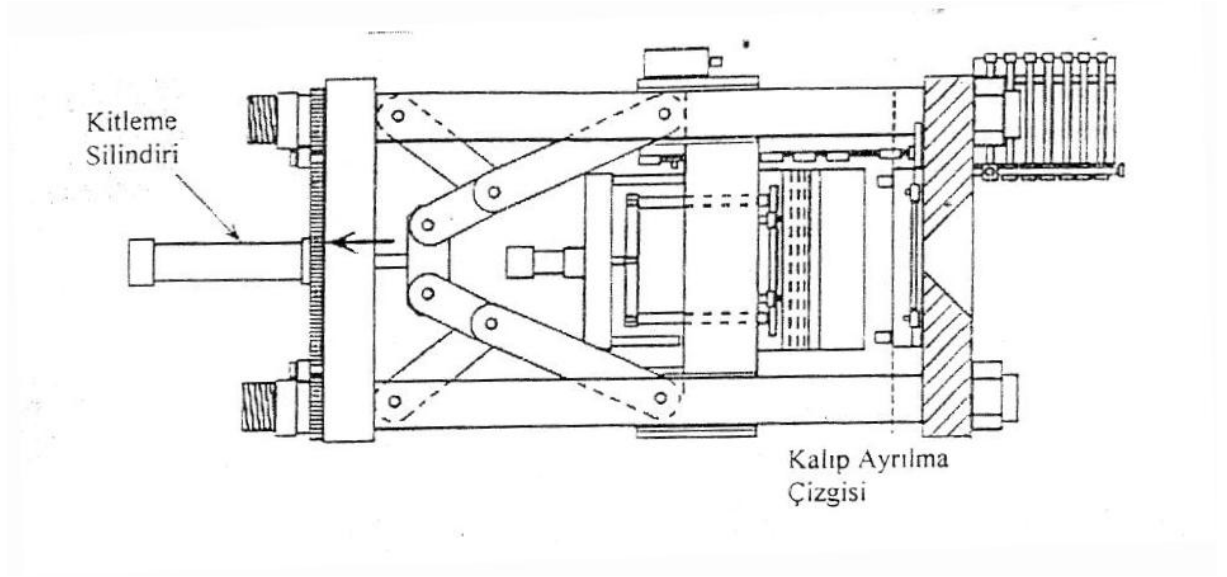


Şekil 3-8 Kapalı halde mafsal kilitleme mekanizması

Kalıp kapama kuvveti merkezde bulunan kitleme silindiri (bkz. Şekil 3-8) vasıtasıyla uygulanır. Mafsal kilitlemeli makinelerin en önemli avantajlarından birisi hızlı hareketten yavaş harekete geçilme kolaylığıdır. Kitleme silindiri istavroza hareket kazandırırken mafsal bağlanma noktalarını yatay konuma getirir. İlk hareket hızlı, fakat düşük mekanik kazançlı yapılırken, kalıbın kapanmaya yaklaşması esnasında, hareket yavaşlar, buna karşılık mekanik kazanç artar. Böylece kalıbın enjeksiyon işlemi sırasında kapalı kalmasını sağlayacak basınç elde edilirken, yavaşlatılan hız ile kalıp yarılarının kilitlenme sırasında, çarpmadan dolayı zarar görmesi engellenir.

Kitleme pozisyonuna gelen mafsal bağlanma noktaları yatay konumdadır (bkz. Şekil 3-9). Bu esnada daha fazla hidrolik basınç uygulamaya gerek yoktur. Gerekli

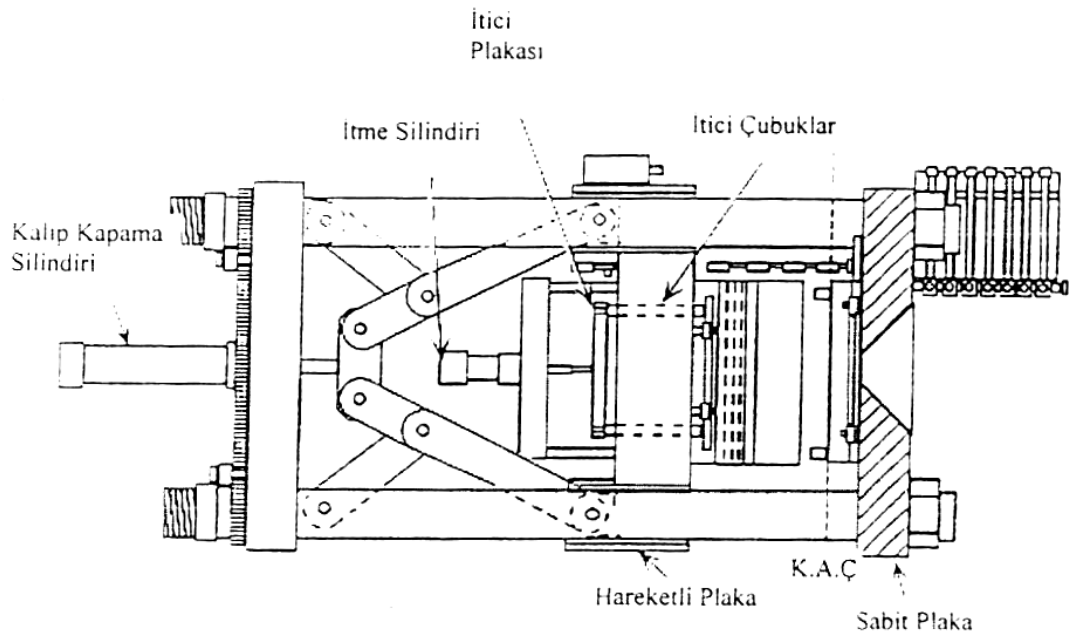
olan basınç mafsallı kollarının sahip olduğu elastik sıkışmanın sağladığı kuvvetten elde edilir. Daha sonra hidrolik basınç ters yönde işletilerek mafsallar yavaşça açılır.



Şekil 3-9 Açık halde mafsallı kilitleme mekanizması

3.3.2 İtici Mekanizması Çevrimi

İtme işlemi enjeksiyon makinesinin son işlemidir. Kalıp açıldığı zaman plastik parça hareketli yarıda kalır. İtme silindiri vasıtasıyla itici plakası tahrik edilir. Bu plakaya bağlı itici çubuklar veya plakalar parçayı kalıp dışına çıkarır.



Şekil 3-10 İtici mekanizması çevrimi

4 Ürün Geometrisi

Ürün, bir el matkabının dış kabının yarısıdır. Tek açılımda üretilebilecek basit bir parçadır. Ekler bölümünde 0002 numaralı teknik resimde boyutlandırmalar olmadan, ön ve yan görünümleri verilmiştir. Ürün boyutlarından öte kalıp boyutları önemlidir. Teknik resimlerde daha çok buna dikkat edilmiştir.

Ürünün konstrüksiyonu üzerinde durulmayacaktır. Genel anlamda konstrüktörün, üretim yöntemine uygun, mümkün olan en düşük maliyetli bir işlemle üretilebilecek tasarımı yaratması beklenir. Plastik malzemelerle konstrüksiyon için hem tecrübe hem de üretim yönteminin sınırları bilinmelidir [8].

Genel anlamda ürün geometrisi başarılıdır. Kalıp tasarımını kolaylaştıracak bir ayırma düzlemi mevcuttur. Duvar kalınlıkları değişkenlik göstermemektedir ve soğuma esnasında çökmenin gerçekleşebileceği yerlere kaburgalar ile destek yapılmıştır. Dış tarafta kalan kısımda bir yazı yazılmıştır (simgesel olarak bu tasarımda M & E harfleri kullanılmıştır). Hassas işleme başarısı sebebi ile elektroerozyon son pasoda tercih edilir. Üründe kabartma yapmak için kalıpta oyuk-çukur oluşturmak gerekecektir ve sadece yazının işlenmesi geri kalan tüm yüzeyin işlenmesinden kolaydır. Bu yüzden, yazının kabartma olması, kalıbın üretimi açısından daha az maliyetlidir. Genelde 1mm'yi geçmeyen kabartma yazılar duvar kalınlığını değiştirmektedir. Daha geç soğuyacak olan bu bölümün çökme olasılığı cidar kalınlığı yüzünden daha fazladır, fakat aksi yönden yazının olduğu kısım kalıp ile daha fazla yüzeyden temas halindedir (temas yüzeyi / hacim daha büyüktür), ki bu durum soğumanın etkinliğini arttırmaktadır ve çökme gerçekleşmemektedir. Yazıların dolma anına dikkat etmeli ve tam dolma sağlanacak, mümkünse hava sıkışması yaratmayacak (değilse havalandırma kanalları açılmalıdır) yönelimi sağlayacak enjeksiyon noktası (noktaları) seçilmelidir.

5 Malzeme Özellikleri

Ürün için, malzeme olarak ABS seçilmiştir. Oldukça iyi ve dengeli özellikleri nedeni ile günümüzde giderek daha fazla kullanım alanı bulan ABS, Akrilonitril, Bütadien ve Stiren' den oluşan bir terpolimerdir ve bu polimerlerin oranlarında oynamalar yapılarak ABS' nin özelliklerini belli ölçülerde değiştirmek mümkündür. Sertlik, kimyasal ve ısı direnci akrilonitril monomerinden; işlenebilirlik, opaklık ve dayanımı stiren monomerinden; tokluk ve darbe dayanımı bütadien monomerinden kaynaklanmaktadır. Bu 3 monomerin polimerizasyonu ile oluşan bu terpolimerin 2 fazı vardır: SAN, stiren-akilonitrilden kaynaklanan sürekli bir faz; polibütadienden kaynaklanan bir yayılmış faz [9]. Bu durum yüzlerce farklı tipte ABS oluşumunu ve de piyasada öne çıkan özelliklerine göre anıldıklarını nedenler. Bu yüzden, 7 Analiz bölümünde malzeme özellikleri olarak Tablo 5-1'deki verilerin aralığında bulunan, katalog verileri kullanılmıştır.

ABS amorf termoplastikler sınıfına dahildir ve -45°C ile +90°C arasında sürekli olarak kullanılabilir [10]. Ancak bu sıcaklığın üzerinde de sertliğini ve sağlamlığını bir ölçüye kadar korumaya devam eder. ABS' in en önemli özelliği, +5 °C ve altındaki sıcaklıklardaki çok yüksek darbe dayanımıdır [10]. Diğer önemli özellikleri arasında yüksek kimyasal dayanım, gıda ile temas edebilme, kolayca işlenebilme ve birleştirilebilme ve de yüksek dielektrik dayanım sayılabilir.

ABS 'nin en çok kullanıldığı alan boru yapımıdır [10]. Doğal gaz dağıtım şebekesinde, petrol taşıyıcılarında, su, atık tahliye ve tuzlu su borularında, drenlerde; pürüzsüz bir yüzeye sahip olması ve kolayca renklendirilebilmesi nedeni ile telefondan elektrik süpürmesine, bavuldan emniyet kaskına; otomotiv endüstrisinde iç panelin tümünde, kapı kollarından ayna kaplarına; kolay şekillenebilmesi ve özelliklerini koruduğu kullanım sıcaklığının genişliği ile golf arabalarından jet skilere bir çok yerde kullanılmaktadır. Ayrıca amorf yapısı nedeni ile sıcaklıkla sertliğinin değişmemesi muhtelif mutfak eşyası ve saç kurutma makinası gibi, çeşitli kullanım malzemesinin yapımında kullanımını yaygın kılar.

9 Moldflow Plastics Insight v5 Help Documents, ABS

10 V.Temiz, Plastik Malzemelerle Konstrüksiyon, Ders Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi

Birçok polimer gibi ABS de nem tutar ve bu durum işlenme özelliklerini olumsuz etkiler. Bu yüzden, şekillendirmeden önce en az 2 saat süre boyunca 80 - 90 °C (176 - 195 °F) sıcaklıkta kurutulmalıdır. Malzemenin işlenirken nem oranı 0.1% 'den az olmalıdır.

Kalıp sıcaklığı optik özellikleri etkilemektedir. Düşük kalıp sıcaklığı daha düşük opaklık değerleri yaratacaktır.

Enjeksiyon basıncı 50-100 Mpa arasındadır.

Aşağıda bulunan özellikler (bkz. Tablo 5-1) MatWeb tarafından sağlanmıştır [11] ve türkçeye çevrilmiştir.

Tablo 5-1 ABS malzemesi genel özellikleri

Fiziki Özellikler	Metrik Birimler	Notlar
Yoğunluk	1.02 - 1.21 g/cc	Average = 1.05 g/cc; Ölçülen Grade Sayısı = 185
Nem (Su) İçeriği	0.05 - 1.8 %	Ortalama = 0.74%; Ölçülen Grade Sayısı = 27
Denge Halinde Nemlenme Oranı	0.35 - 0.45 %	Ortalama = 0.4%; Ölçülen Grade Sayısı = 23
Doyma Noktasında Su Çekmesi	0.3 %	Ölçülen Grade Sayısı = 7
Doğrusal Çekme Payı	0.0024 0.0165 cm/cm	- Ortalama = 0.0064 cm/cm; Ölçülen Grade Sayısı = 145
Erime İndeksi	0.5 - 45 g/10 min	Ortalama = 9.3 g/10 min; Ölçülen Grade Sayısı = 186
Mekanik Özellikler		
Sertlik, Rockwell R	88 - 118	Ortalama = 110; Ölçülen Grade Sayısı = 96
Sertlik, Shore D	100	Ölçülen Grade Sayısı = 1
Kopma Çekme Gerilmesi	29.8 - 65 MPa	Ortalama = 41.5 MPa; Ölçülen Grade Sayısı = 79
Akma Çekme Gerilmesi	29.6 - 65 MPa	Ortalama = 44.8 MPa; Ölçülen Grade Sayısı = 143
Kırılma Uzaması	2 - 110 %	Ortalama = 27.3%; Ölçülen Grade Sayısı = 116
Akma Uzaması	1.7 - 6 %	Ortalama = 2.6%; Ölçülen Grade Sayısı = 59
Kopma Modülü	1.79 - 3.2 GPa	Ortalama = 2.4 GPa; Ölçülen Grade Sayısı = 141
Eğilme Modülü	1.606 - 5.903 GPa	Ortalama = 2.4 GPa; Ölçülen Grade Sayısı = 122
Eğilme Dayanımı	47.8 - 107 MPa	Ortalama = 71.8 MPa; Ölçülen Grade Sayısı = 120
Basma Akma Dayanımı	53 - 86 MPa	Ortalama = 64 MPa; Ölçülen Grade Sayısı=3
Izod Darbe Mukavemeti, Çentikli	0.4 - 6.4 J/cm	Ortalama = 2.5 J/cm; Ölçülen Grade Sayısı = 153
Izod Darbe Mukavemeti, Çentiksiz	10.7 - NB	Ortalama = 16.3 J/cm (NB computed as 20 J/cm); Ölçülen Grade Sayısı = 3
Izod Darbe Mukavemeti, Çentikli Düşük Sıcaklık	0.48 - 2.14 J/cm	Ortalama = 0.8 J/cm; Ölçülen Grade Sayısı = 24
Charpy Darbe Mukavemeti, Çentiksiz	5 - 24 J/cm ²	Ortalama = 18.3 J/cm ² ; Ölçülen Grade Sayısı = 51
Charpy Darbe Mukavemeti, Çentikli Düşük Sıcaklık	0.2 - 1.6 J/cm ²	Ortalama = 0.8 J/cm ² ; Ölçülen Grade Sayısı = 44
Charpy Darbe Mukavemeti	0.3 - NB	Ortalama = 9.4 J/cm ² (NB computed as 20 J/cm ²); Ölçülen

11 <http://www.matweb.com/> , [Copyright 1996-2004 by Automation Creations, Inc. The information provided by MatWeb is intended for personal, non-commercial use.]

Çentiksiz Düşük Sıcaklık		Grade Sayısı = 58
Charpy Darbe Mukavemeti, Çentikli	0.5 - 7 J/cm ²	Ortalama = 2.2 J/cm ² ; Ölçülen Grade Sayısı = 61
Gardner Darbe Mukavemeti	1.8 - 19.8 J	Ortalama = 10.7 J; Ölçülen Grade Sayısı = 3
Sürünme Modülü, 1 saat	2000 - 2500 MPa	Ortalama = 2200 MPa; Ölçülen Grade Sayısı = 6
Sürünme Modülü, 1000 saat	1150 - 1900 MPa	Ortalama = 1500 MPa; Ölçülen Grade Sayısı = 12
Elektriksel Özellikler		
Elektriksel Direnci	1e+014 1e+016 ohm-cm	- Ortalama = 1.7E+15 ohm-cm; Ölçülen Grade Sayısı = 35
Yüzey dirancı	1e+013 1e+015 ohm	- Ortalama = 3E+14 ohm; Ölçülen Grade Sayısı = 37
Dielektrik Sabiti	2.7 - 3.2	Ortalama = 2.9; Ölçülen Grade Sayısı = 27
Dielektrik Sabiti, Düşük Frekansta	2.7 - 3.5	Ortalama = 3.1; Ölçülen Grade Sayısı = 20
Dielektrik Dayanımı	15.7 - 34 kV/mm	Ortalama = 28.3 kV/mm; Ölçülen Grade Sayısı = 13
Yayımla Faktörü (Dissipation Factor)	0.005 - 0.019	Ortalama = 0.01; Ölçülen Grade Sayısı = 26
Yayımla Faktörü, Düşük Frekansta	0.005 - 0.016	Ortalama = 0.01; Ölçülen Grade Sayısı = 20
Ark Direnci	60 - 120 sec	Ortalama = 64.1 sec; Ölçülen Grade Sayısı=22
CTI (Comparative Tracking Index)	400 - 600 V	Ortalama = 590 V; Ölçülen Grade Sayısı=50
Hot Wire Ignition, HWI	7 - 15 sec	Ortalama = 12.3 sec; Ölçülen Grade Sayısı = 21
High Amp Arc Ignition, HAI	15 - 120 arcs	Ortalama = 100 arcs; Ölçülen Grade Sayısı = 21
High Voltage Arc-Tracking Rate, HVTR	10 - 300 mm/min	Ortalama = 57.5 mm/min; Ölçülen Grade Sayısı = 20
Isıl Özellikler		
Doğrusal Isıl Genleşme 20°C	65 - 150 µm/m-°C	Ortalama = 90.6 µm/m-°C; Ölçülen Grade Sayısı=87
Spesifik Isı Kapasitesi	1.96 - 2.13 J/g-°C	Ortalama = 2 J/g-K; Ölçülen Grade Sayısı = 6
Isıl Geçirgenlik	0.128 - 0.19 W/m-K	Ortalama = 0.15 W/m-K; Ölçülen Grade Sayısı = 9
Havada en yüksek servis sıcaklığı	60 - 106 °C	Ortalama = 86.6°C; Ölçülen Grade Sayısı = 132
Basınça Altında Sehim Sıcaklığı 0.46 MPa (66 psi)	68 - 140 °C	Ortalama = 96.2°C; Ölçülen Grade Sayısı=101
Basınça Altında Sehim Sıcaklığı 1.8 MPa (264 psi)	73.9 - 220 °C	Ortalama = 91.4°C; Ölçülen Grade Sayısı=173
VCP (Vicat Softening Point)	87 - 140 °C	Ortalama = 100°C; Ölçülen Grade Sayısı = 139
Camsılaşma Sıcaklığı	107 - 115 °C	Ortalama = 110°C; Ölçülen Grade Sayısı = 5
UL RTI, Elektriksel	60 - 80 °C	Ortalama = 62.5°C; Ölçülen Grade Sayısı = 24
UL RTI, Mechanik (Darbeli)	60 - 80 °C	Ortalama = 62.5°C; Ölçülen Grade Sayısı = 24
UL RTI, Mechanik (Darbesiz)	60 - 80 °C	Ortalama = 62.5°C; Ölçülen Grade Sayısı = 24
Alevlenme, UL94	HB	Ölçülen Grade Sayısı = 135
Oksijen İçeriği	19 %	Ölçülen Grade Sayısı = 9
Optik Özellikler		
Gloss	40 - 96 %	Ortalama = 79.5%; Ölçülen Grade Sayısı = 18
İşleme Özellikleri		
İşleme Sıcaklığı	204 - 260 °C	Ortalama = 240°C; Ölçülen Grade Sayısı = 41
Enjekte Sıcaklığı	250 °C	Ölçülen Grade Sayısı = 4
Kalıp Sıcaklığı	43 - 65 °C	Ortalama = 58.5°C; Ölçülen Grade Sayısı = 28
Kuruma Sıcaklığı	77 - 96 °C	Ortalama = 85.3°C; Ölçülen Grade Sayısı = 26

6 Kalıp Tasarımı

Kalıp tasarımı için Catia V5 programının Core & Cavity ve Mold Tooling arayüzleri [12] kullanılmıştır.

6.1 Model Transferi

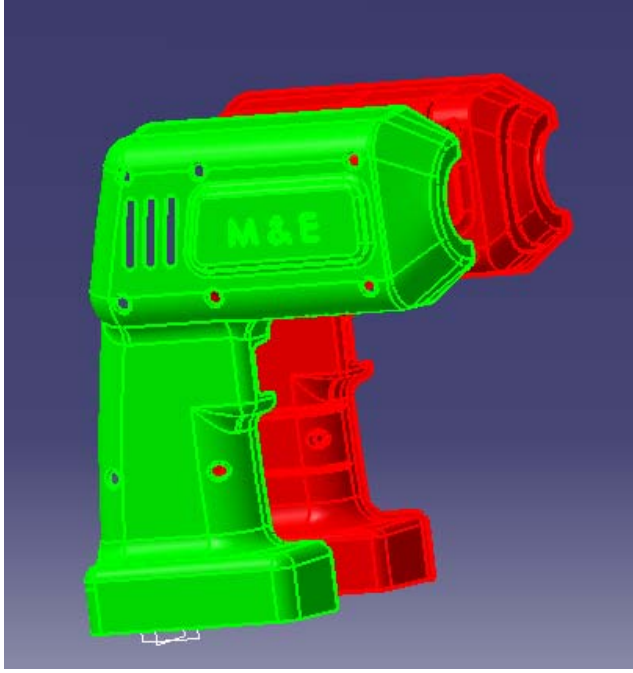
Iges formatında gelen parça Catia programında açıldıktan sonra ilk önce Join komutu ile yüzeyler biraraya toplanmış, Healing ile de birbirine 0.1mm'den daha yakın olan noktalar birleştirilmiştir (merging). Daha sonra Part arayüzünden Close Surface komutu ile yaratılan yüzeyler topluluğu bir katı model haline getirilmiştir. Topolojideki bu modifikasyon, programın her arayüzde yüzeylerle çalışamamasından zorunlu kılınmıştır. Model transferi daha sonraki çalışmaların tümünü etkilemektedir. Öyle ki, örnek olarak bir iges dosyasında, yüzeydeki belirli bir eğrilik yarıçapı ile çizilmiş olan eğriyi, birden çok daire parçası olarak tanımlar. Sonuç olarak katı, tamamı ile aynı olmasına karşı, eğrinin seçilmesi, değiştirilmesi hatta boyutlandırması bile çok zahmetli olmaktadır. Bu yüzden çizimler aynı CAD platformunda yapılmalı, veya en azından birbirine geçişi destekleyen program grupları / dosya formatları seçilmelidir.

6.2 Çekme Payı Girilmesi

Her kalıplama çeşidinde, sıcak giren malzeme katılaşıırken ısı kaybeder ve katı hale geçerken küçülür. Bu yüzden kalıplar parça teknik resminde istenen boyutlardan büyük yapılır. Çekme hesabı lineer olarak yapılır ve uzunluğa bağlıdır. Malzeme sağlayıcıdan bu bilgi temin edilebilir. Kullanılan malzemenin çekme aralığında olan 0.01 m/m değeri esas alınmıştır.

Model ilk önce Scale komutu ile xy, yz, xz alanlarında sırası ile 1.01 oranı ile çarpılarak büyütülür.

6.3 Kalıp Ayrım Hat ve Yüzeylerinin Çıkarılması



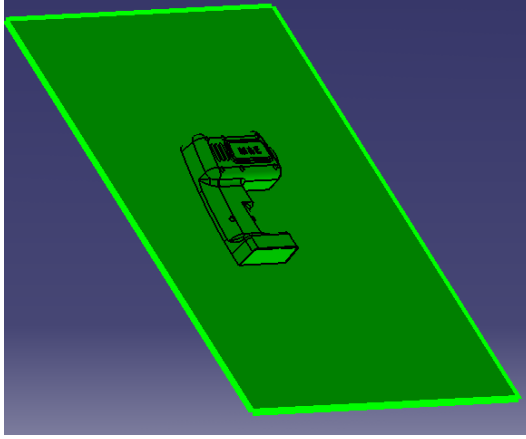
Şekil 6-1 Erkek (kırmızı) ve Dişi (yeşil) kalıplarının patlatılmış görünümü

Core & Cavity Design arayüzünde, Pulling Direction komutu ile, kalıp açılma yönünü belirterek yüzeyler otomatik olarak atanır ve Transfer Element ile erkek (core) ve dişi (cavity) kalıp arasında yüzeylerin yeri değiştirilir. Böylece belirlenen renklerle erkek ve dişi kalıp görselleştirilir.

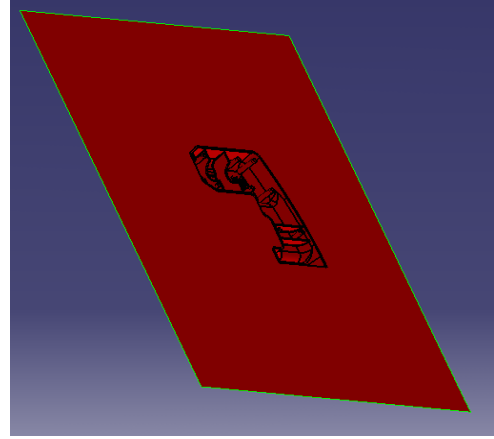
Aynı işlemler yüzey tasarım komutları ile de yapılabilir, sonuç aynı olacaktır. Bu işlem bir sonraki adım için gereklidir, tüm yüzeylerin doğru olarak atanması gerekmektedir (sonuca örnek için bkz. Şekil 6-1).

6.4 Kalıp Yüzeylerinin Büyütülmesi

Oluşturulan erkek ve dişi kalıp yüzeyleri, kalıbın yontulmasında kullanılacaktır ve yüzeyler devamlı olmalıdır. Şekil 6-1’de de görülen delikler yüzey devamlılığına engeldir (daha sonra uygulanacak yüzey ile kesme komutunun sağlıklı uygulanabilmesi için yüzeyin birleşik tek bir sınır çizgisi olmalıdır, kapalı yüzey (closed surface), örnek sonuç için bkz. Şekil 6-2 ve Şekil 6-3), bu yüzden tüm bu delikler Fill komutu yardımı ile doldurulur ve Aggregate Mold komutu ile erkek ve dişi kalıp yüzeyleri ayrı ayrı birleştirilir, tek yüzey yaratılır. Son olarak oluşturulacak kalıptan daha büyük bir yüzey, kalıp ayrım düzleminde oluşturulmalı ve parça izdüşümü (project 3D komutu) bu yüzeyden kesilerek (shape design arayüzündeki split face komutu) ayrılmalıdır. Tüm bu yüzeyler Join komutu ile birleştirilir (örnek isim : CoreSurface).



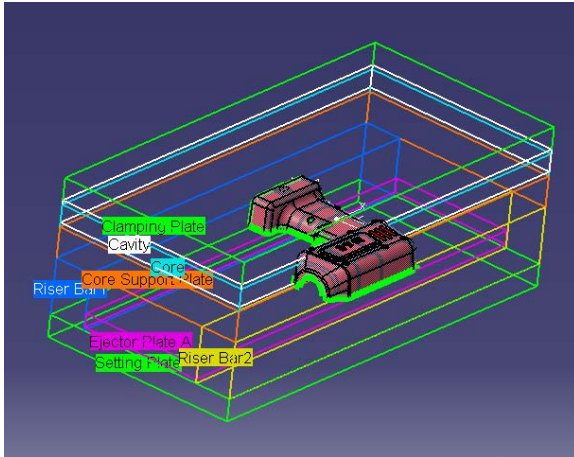
Şekil 6-2 Dişi Kalıp Yüzeyi, ön görünüm



Şekil 6-3 Erkek Kalıp Yüzeyi, arka görünüm

6.5 Kalıp Gövdesinin Modellenmesi

Yapılması gereken ilk işlem Tools/Options/General/Document/Link Documentation Localisation/Other Directory/Modify komutu ile oluşturulacak parçaların hangi klasöre atanacağını belirlemek gerekmektedir. Daha sonra New Mold komutu ile seçim yapılabilir.

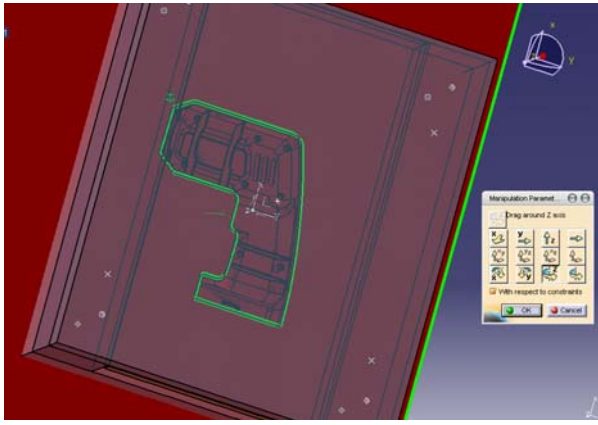


Şekil 6-4 Kalıp seçilirken plakaların öngörünümü

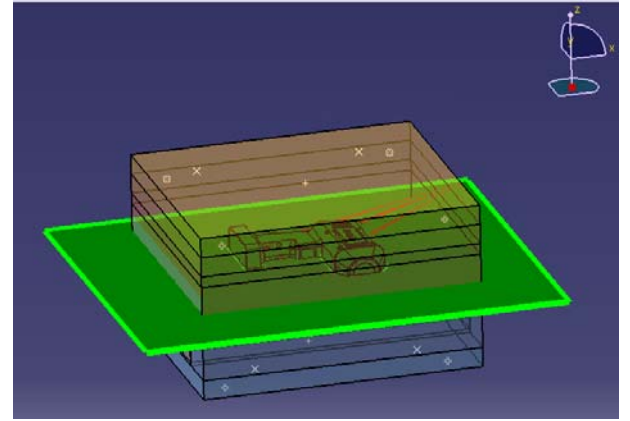
Standart kalıp Catia programının kataloğundan seçilmiştir. Hasco firmasına ait bu kalıp MBA 5 sınıfına ait, 153 nolu 1346196 referanslı bir kalıptır (bkz. Şekil 6-4). Erkek ve dişi kalıpların malzemesi, 2483 referanslı 1.2311 (AISI P20) takım çeliği seçilmiş, kalınlıkları 76mm'ye yükseltilmiştir. Böylece 36mm olan en fazla parça yüksekliği 38mm'den kesilen erkek ve dişi kalıplara sabitlemek için yeterli et kalınlığı sahip olacaktır.

Ürün, memenin (örnekte nokta yolluk) kalıbın ortasına geleceği şekilde (bkz. Şekil 6-5) yerleştirilir. Ayırma düzlemi gerekli mesafelerde ilişkilendirme ile yerleştirilir (bkz. Şekil 6-6). Erkek ve dişi kalıp üzerinde oluşturulacak yüzey kesme işlemi Split

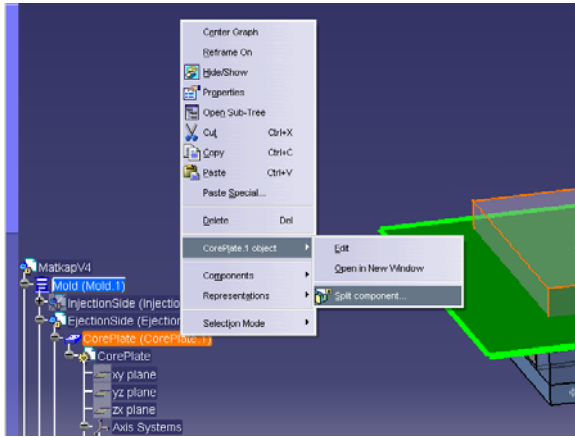
Component ile yapılır. Dikkat edilmesi gereken nokta, Product Tree (İşlem Ağacı) en tepesinde bir ürün(product), bunun altında ise ürün (moldedpart) bir parça (part) olarak, kalıp(mold) ayrı bir parça olarak bulunmaktadır. Kesilecek yüzey erkek ise, CorePlate altındaki PartBody ilk önce Define in Work Object komutu ile kesme işleminin sonucu olacağı işaretlenmeli, daha sonra Mold parçası iki kez tıklanarak seçilmeli (mavi işaretli, bkz. Şekil 6-7) ve CorePlate üzerinde sağ tıkla Split Component komutu (bkz.Şekil 6-7), daha önce oluşturulmuş (örnek isim : CoreSurface) yüzeye uygulanmalıdır (oklar kesildikten sonra kalacak olan kısmı işaret etmektedirler, üzerlerine basılarak yön değiştirirler). Sonuç sadece erkek kalıp için Şekil 6-8’da görülmektedir.



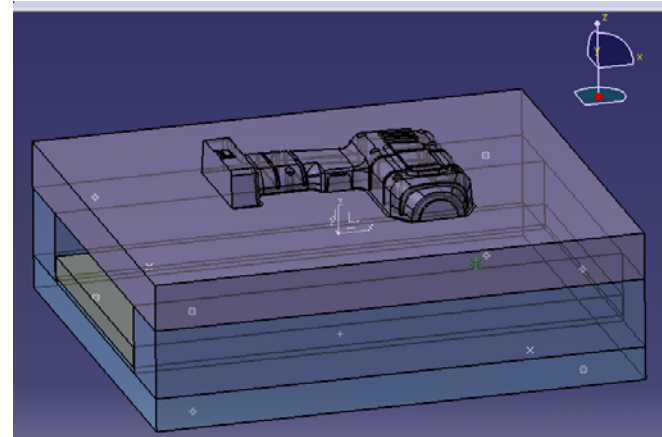
Şekil 6-5 Kalıp içerisinde parça modelinin yerleşimi



Şekil 6-6 İlişkilendirmeler ile yerin kesinleştirilmesi



Şekil 6-7 Yüzey yontma komutu gösterimi



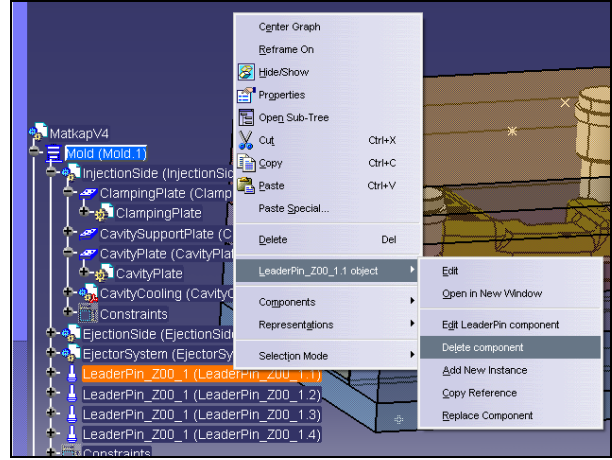
Şekil 6-8 Yüzeyin yontulmuş hali

6.6 Hazır Parçaların Seçimi ve Yerleşimi

Dassault Systems Catia V5R14'te bulunan Mold Tooling Design arayüzünde açılan menü (bkz. Şekil 6-9) yardımı ile standart elemanları eklemek mümkündür. İstenen eleman katalogtan seçilip, yeri için model üzerinde bir noktaya tıklanmalıdır. Standart kalıpların üzerinde tavsiye edilen delme noktaları bulunmaktadır.



Şekil 6-9 Menü



Şekil 6-10 Standart elemanların uygulama menüsü

Eklenen standart elemanlar ürün ağacına (product tree) birer component olarak eklenecektir. Üzerlerinde değişiklik yapmak için sağ tıkla object menüsüne girilmelidir (bkz.Şekil 6-10). Bunun nedeni şöyle açıklanabilir. Standart eleman seçildiğinde eklenirken gereken delik delme, dış açma işlemleri yapılmaktadır. Componentin delete component yerine delete komutu ile silinmesi sonucu bu işlemler kalacaktır (model üzerinde delik, açılmış dış gibi).

6.6.1 Kalıp Seçimi Kriterleri

Kalıbın hazır parça olarak seçilmesi maliyete ve üretim hızına olumlu katkıda bulunur. Seçim için kriterler :

1. Kalıp Malzemesi
2. Kalıp Boyutları

6.6.1.1 Kalıp Malzemesi

Ülkemizde sektörün yaygınlaşması ile malzemeler de yurtiçerisinden temin edilebilmektedir. Plastik kalıp takım çelikleri adıyla anılan bu malzemelerin en yaygınları Tablo 6-1'de verilmiştir.

Tablo 6-1.Çok kullanılan Plastik Takım Çelikleri ve uluslararası standartlardaki karşılıkları [13]

VHB	ISO / DIN
IMPAX	≈1.2738 ESR
SUPREME	40CrMnNiMo864
HOLDAX	≈1.2312 40CrMnMoS86
STAVAX	≈1.2083 ESR
ESR	X42C13
RAMAX S	≈1.2316 X36CrMo17
ELMAX	PATENT
UHB-11	1.1730 C45 W
CALMAX	PATENT
ORVAR	≈1.2344 ESR
SUPREME	X40CrMoV51

Tüm kalıp malzemelerinin tokluk, işlenebilirlik, kaynak edilebilirlik, yüzey sertleştirilme ve foto-dağlamaya verilen tepkiler, korozyona dayanıklılık gibi özellikler açısından birbirinden farkları vardır. Tablo 6-2’te bu özellikler gözetilerek yapılan tavsiyeler yer almaktadır [14].

Tablo 6-2.Bazı plastik hammaddeler için, enjeksiyon işlemi ile şekillendirmede önerilen kalıp takım çelikleri ve sertlik değerleri

Plastiğin Özellikleri	Önerilen Çelik Kalitesi	Önerilen Sertlik [HRC]
Korozif olmayan plastikler :	Impax Supreme	33
PE, ABS, PS, PA, PA6,	Orvar Supreme	48-52

13 **A. Hatman**, 1999. Plastik Kalıp Takım Çeliklerinin Seçimi, *Plastik Malzemeler ve Teknolojileri Konferans Bildiriler Kitabı 4-5 Aralık 1999*, mmo yayın no:241, Hat Grafik Basım ve Reklam Hiz.San.Tic.Ltd.Şti, İstanbul, sf.81-85

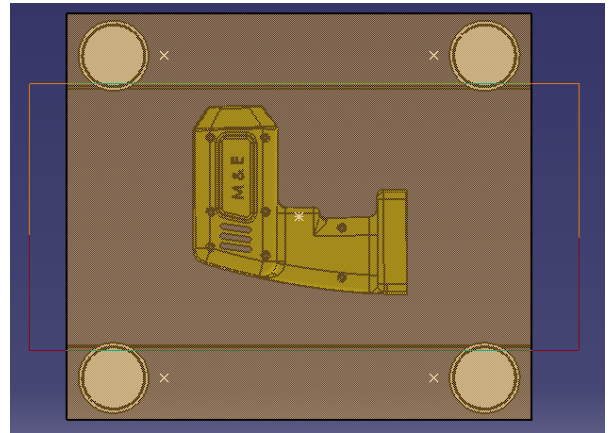
14 **A. Hatman**, 1999. Plastik Kalıp Takım Çeliklerinin Seçimi, *Plastik Malzemeler ve Teknolojileri Konferans Bildiriler Kitabı 4-5 Aralık 1999*, mmo yayın no:241, Hat Grafik Basım ve Reklam Hiz.San.Tic.Ltd.Şti, İstanbul, sf.81-85

PA66 vb.	Holdax	33
	Calmax	56-58
Korozif olanlar : Örnek PVC vb. (Paslanmaz çelikler)	Stavax ESR	50-54
	Ramax S	36
	Elmax	58-60
Aşındırıcı plastikler : Kristal, Elyaf takviyeli plastikler, akrilik vb.	Impax Supreme	33
	Orvar Supreme	48-52
	Stavax ESR	50-54
	Calmax	56-58
	Sverker 21	56-62
	Vanadis 4	56-62

Tavsiyeler sonucu, ürün malzemesinin ABS gibi kolay şekillenen, problemsiz bir polimer olması, fiyatının uygunluğu ve kolay şekillenebilir olması yüzünden AISI P20 / DIN 1.2311 40CrMnMo7 (birleşimi : C 0.40, Si 0.30, Mn 1.50, Cr 1.90, Mo 0.20) hem erkek, hem dişi kalıplar hem de diğer ara plakalar için seçilmiştir, çünkü darbeli zorlanmaya maruz kalan kalıbın diğer parçaların da tokluğu, uzun ömür için önemlidir. Diğer hazır parçaların malzeme seçimleri tavsiyelere ve standartlara uygun yapılmıştır [15] .

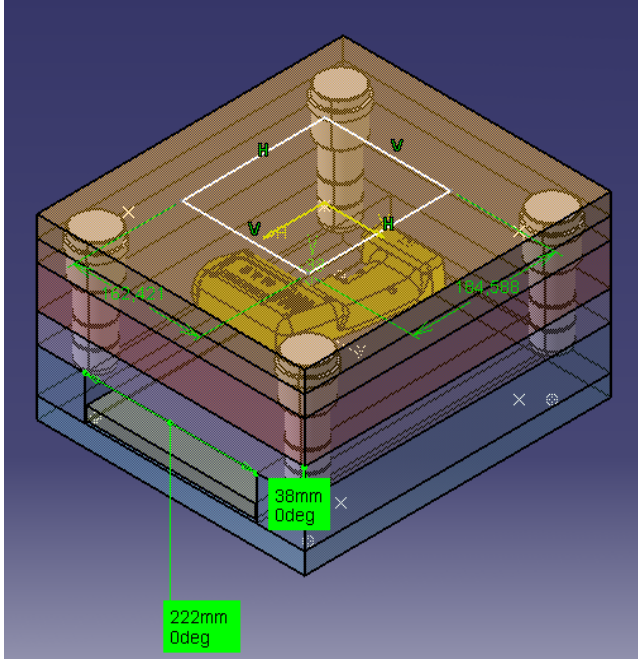
6.6.1.2 Kalıp Boyutları

Meme girişi, yanal yükleri kalıba dengeli dağıtmak amacı ile kalıp ortasından yapılır. Şekil 6-11’de gösterilmeye çalışılan alanın sınırları aslında itici plakaların boyutları ile ilgilidir. Standart kalıplarda boyutlar en büyük plakalar cinsinde verilmektedir, seçim yapılırken bu durum göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 6-11 Kalıpta ürün projeksiyon alanının limitleri

En boy ölçüleri sabit olmakla beraber, plaka kalınlıklarında değişiklik yapılabilmektedir. Erkek ve dişi kalıplar için ürünün en kalın kesitinden daha kalın plakalar gerekmektedir. Ayrıca yüksek kuvvetlere maruz kalacak bu plakaların toleranslar içerisinde esnemeleri gerekmektedir. Basit bir beam elemanına indirgenirse (burada plaka derinliği, toplam yükün plaka derinliğine bölünmesi ile, 1 birim alınmış, bu sayede de atalet momenti 1 birim için basitleştirilmiştir, boyutlar için Şekil 6-12'ye bakınız, hesaplamada tüm boyutlar onlar basamağı mertebesinde yuvarlatılmıştır),



Şekil 6-12 Kalıp mukavemet hesabı için ölçüler

kalıpta sehim f

Denklem 6-1 Kalıp plakalarında sehim f [mm]

$$en := 170 \quad \text{mm} \quad \text{derinlik} := 190 \quad \text{mm}$$

$$L := 230 \quad \text{mm} \quad d := 40 \quad \text{mm}$$

$$\text{enjeksiyon presisi } p := 80 \quad \text{MPa}$$

$$W_{\text{total}} := 125 \quad \text{ton} \quad E := 205000 \quad \text{MPa}$$

$$W := \frac{W_{\text{total}}}{\text{derinlik}} \quad I := \frac{1 \cdot d^3}{3} \quad \text{mm}^4$$

$$f := \frac{W \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I} \quad f = 3.813 \times 10^{-5} \text{ mm}$$

hesaplaması ile bulunabilir.

Sonuç fazlasıyla yeterlidir, sehmin 0.05mm'yi geçmemesi tavsiye edilmektedir [16]. Burada W yükü, L aralık ringleri (riser bars) ara açıklığını, E elastisite modülünü, d plaka kalınlığını temsil ettiğine göre sehmin plaka kalınlığının 3üncü kuvvetine ters oranla değişmektedir. Bu durumda iki plaka koymak yerine kalınlığı iki katına çıkarmak sehmin açısından daha mantıklıdır [16], zaten plakaların minimum kalınlıkları da bu durum gözetilerek belirlenir.

Kalıbın boyutlandırmasında, özellikle de plastiğin temas ettiği yüzeylerin işleme metodu (dolayısı ile toleransları), ürünün yüzey kalitesini birebir etkilemektedir. Yeterince hassas işlenmeyen yüzeyde, plastiğin yüzey dalgalanmalarında aralara dolması da, ürünün yüzeye yapışarak çıkarmada problem yaşatabilir. Tablo 6-3'te metotları ve oluşacak toleranslar görülmektedir.

Tablo 6-3. Kalıp yüzey işleme metotları ve uygulama yerleri[17]

Gerekli son paso (finish) işlemi				
mikrometre	mikroinch	SPI eşdeğeri	İşleme Metodu	Uygulama Yerleri
0.025	1		Alıştırma 8000 elmas	Deney camı, optik kalitede yüzey
0.05	2	1	900 taş 8000 elmas Parlatma	Test tüpü
0.08	3		900 taş 3000 elmas Parlatma	Kristal bardak
0.1	4	2	600 taş 3000 elmas Parlatma	Opak, parlak yüzey

16 H. Rees, 1995. Mold Engineering, Carl-Hanser Verlag, Donauwörth, sf.373-374,

17 H. Rees, 1995. Mold Engineering, Carl-Hanser Verlag, Donauwörth, sf.362 Tablo16.5,

0.1-0.2	4-8	3	900 çizik taş	Opak yüzey
		5	900 çizik taş Honlama	Mat, düzgün yüzey
0.10-0.15	4-6		900 çizik taş Honlama	Yarı opak yüzey
			Deri ile	
0.2	8		600 çizik taş	Genel kullanım
			3000 elmas Deri ile	
0.2-0.3	8-12	4	400-600 taş	Teknik parçalar, belirtilmemiş yüzey kalitesi
		6	400-600 taş Kumlama	Doku

Plastik malzemenin şekil alacağı erkek ve dişi kalıplar dışında, destek plakaları yerleştirmek mümkündür. Destek plakaları mukavemetin yetmediği durumlarda kullanıldığı gibi standart elemanları seçmek için de kullanılabilir. Erkek kalıbın altına bir destek (ara) plakası konulmuştur. Böylece hazır seçilen merkezleme civatasının burcunu yerleştirmek mümkün olmuştur. Diğer bir durumda aralık plakalarına (riser bar) delik delme işlemi yapmak gerekecekti, bunun yerine bir destek plaka konularak delikler bunun üzerine açılmıştır.

6.6.2 Merkezleme Civataları ve Burçları

Standart kalıplarda merkezleme civatalarının yerleştirilmeleri için tavsiye edilen yerler bellidir, genellikle dört tarafa da vidalanır, günümüz hassas delik delme metotlarında bu durum yüksek maliyet getirmez, hatta çoğu standart kalıp üreticisi bu işlemleri önceden de yapmaktadır. Kalıba sürtünme ile aşınma yapacağından, gerektiğinde kolayca değiştirebilmek ve aynı zamanda kalıbın yüksek hassasiyette işlenmesine gerek bırakmamak açısından hareketli kısma metal burçlar yerleştirilir. İki parça da hazırdır, malzemeleri endüstri standardıdır ve iyi aşınma özellikleri gösteren tok çekirdeklidir [18], çaplar kalıp üzerindeki konuma göre belirlenir. Sabit kısımlara vidalanarak tutturulduklarından kalıba diş açmak gerekecektir, bu durumda

18 H. Rees, 1995. Mold Engineering, Carl-Hanser Verlag, Donauwörth, sf.357.

mümkün olan en büyük çaplı civatalar, işleme maliyetini azaltmak açısından, seçilmelidir.

6.6.3 Sabitleme Civataları

Plakaların sabitlenmesinde kullanılan bu civataların seçimi kritiktir. Çok fazla parametre etkimektedir ve yanlış seçimler beklenmeyen zamanlarda gevşemeye, yerinden ayrılmaya sebep olabilir. En önemli parametrelere [19] aşağıda değinilmiştir.

6.6.3.1 Vida Açma Tekniği

Ovalama metodu ile vidanın plastik şekil değiştirmesi sağlanır. Bu durumda diş açılmamış kısmın çapı ortalama diş çapına denk gelir. Talaş kaldırma işlemi ile de diş açılabilir. Bu durumda shaft çapı en büyük çapa denk gelmektedir.

Plastik şekil değişimi ile üretilen vidalar daha mukavvim, çekirdek yerleşimi daha yoğun olduğu için daha tok ve talaş kaldırmada oluşabilecek mikroçatlaklardan yoksun olduğu için tercih edilmektedirler. Tüm 12.9 kalitedeki (civatalarda bu kalite belirlemesi, ilk sayıda kopma uzamasını $[N/mm^2] / 100$, ikinci sayıda kopma / akma gerilmesi oranının 10 katını anlatır) civatalar 20mm çapa dek ovalama ile üretilirler. Büyüyen çaplarda merdanelere gelen kuvvetlerin aşırı büyümesi ile üretim maliyeti artmakta ve talaşlı işlenmiş, ısıl işlem görmüş civatalar bulunabilmektedir.

6.6.3.2 Vida Adımı

Kaba ve ince vida adımları bulunmaktadır. Metrik standartta kaba adım kullanılır, her ne kadar ince diş daha fazla yük taşısa da kalıba kılavuz çekilmesinde, vida değişimi gerektiğinde maliyet artacağından kalıplarda her zaman standart vida adımlı, metrik vidalar kullanılır.

6.6.3.3 Civata Öngerilmesi

Plakaları tutan civatalara, çalışma esnasında yükler etki eder. Civata sıkıldığında, sıkma torku ile yaratılan öngerilmenin sayesinde civata kilitlenir ve kendiliğinden geri dönerek açılmaz. Bu öngerilmenin aşılması sonucunda plakalar ayrılabilir ters yönde aşılsa da civata boşta kalabilir ve açılmalar gerçekleşebilir. Özellikle

19 H. Rees, 1995. Mold Engineering, Carl-Hanser Verlag, Donauwörth, sf.404-426.

kalıpların değişken yükler altında çalışması durumu kolaylaştırır. Bu yüzden kalıbın maruz kalabileceği en büyük kuvvetin her bir civatanın (en küçük) kritik kesitine gelecek gerilme hesaplanarak daha fazla bir öngerilme verilmelidir. Civatanın mukavemetinin bunu taşımaya yetmesi için de en küçük civata çapı hesaplanır. Civata seçimi buna göre yapılır. Aşağıda (Denklem 6-2) öngerilmenin kapama kuvvetine eşlemesi yapılmış ve kalıp plakasının şekil değiştirmedeği varsayımı ile (civata çapı sabittir) civatanın bu kuvveti karşılayabilmesi için en küçük çap hesaplanmıştır.

Denklem 6-2 Civata çapı hesaplanması

$$\text{Sakma} := 1200.9 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Skesme} := \frac{\text{Sakma}}{2} \quad n := 4 \text{ civata sayısı}$$

$$F := 125000 \text{ kg} \quad \text{toplam yük}$$

$$\sqrt{\frac{F}{(\text{Skesme} \cdot \pi \cdot n)}} = 13.572$$

Bu durumda vida dibi kalınlığı 14.701mm olan M16 standart civatası seçilebilir.

6.6.3.4 Sıcaklık Etkisi

Bir önceki bölümde (6.6.3.3) bahsedildiği üzere, civataya uygulanan sıkma torku ile civata boyu uzar. Sıcaklık değişiminden kalıp malzemesi de her yöne genleşecektir (sık gereken kalıp malzemeleri genleşme katsayıları Tablo 6-4 'te görünmektedir). Eğer herhangi bir civata arada genleşen kalıp malzemesi kalacak şekilde iki plakayı bağlıyorsa bahsi geçen sıcaklık etkisi dikkate alınmalıdır. En kötü durum olarak civataların anlık olarak ilk sıcaklıkta kaldığını ve kalıbın civata yönündeki şekil değişimini de hesaba katılarak civataların genleşmesinin kontrolü yapılmalıdır. Zamanla sıcaklık dengesi sağlanacak ve problem ortadan kalkacaktır.

Tablo 6-4.Sık gereken kalıp malzemeleri genleşme katsayıları

Malzeme	Tek boyutta genleşme katsayısı k [m/m°C]
H13	12.24 10 ⁻⁶
P20, 4140	11.39 10 ⁻⁶
420 (SS), A2	11.52 10 ⁻⁶
Dökme Demir (GGG)	11.79 10 ⁻⁶
Alüminyum	22.40 10 ⁻⁶
Pirinç	18.00 10 ⁻⁶
Bakır	16.20 10 ⁻⁶
BeCu 25 & 3	17.60 10 ⁻⁶

Tez için uygun görülen kalıplarda hiçbir civata bu durumu yaratmamaktadır. Hesaplar lineer uzamanın yaratacağı gerilmenin, verilen öngerilme ile toplanması sonucu malzeme akma sınırına yaklaşmaması baz alınarak basitçe yapılır. Örnek ve hesaplamalar için bkz. [20].

6.6.3.5 Vida İşleme Toleransları (örnek : 12.9 kalitesi)

ISO vidaları için standart toleranslar (12.9 kalitesi için) :

- En büyük çap (dış çap), g6 ve hatve, g5
- En küçük çap (diş dibi) ve hatve, H6

6.6.3.6 Civata Vida Boyu

Civatanın vida dişleri (somun veya kalıba edilen montaj uzunluğuna bağlı olarak) kesme ve eğilme gerilmelerine maruz kalırlar. Eğilme gerilmesinin etkisi çok az olduğundan hesaplarda ihmal edilir ve güvenlik katsayısı ile hesaba katılır. Pratik anlamda civatalar kalıp içine tutturuldukları ve standartlarda fazlaca uzun vida boyu olduğu için kontrolü yapılmaya ihtiyaç duyulmayan bir parametredir. Önemli olan standart civataların boyları değiştirilmemelidir, mümkünse kalıpta değişiklik yapılmalıdır. Değilse de çapın 1-1.5 katı bir vida uzunluğu yeterli olacaktır, matematiksel açıklaması için bkz. [21].

20 H. Rees, 1995. Mold Engineering, Carl-Hanser Verlag, Donauwörth, sf.409.

21 H. Rees, 1995. Mold Engineering, Carl-Hanser Verlag, Donauwörth, sf.413.

6.6.3.7 Civata Yağlaması

Montaj sırasında civatalar yağlanmalıdırlar. Metal-metal sürtünmesi indirgenerek, sıkımda ölçülen torkun da, sağlıklı ölçülmesini sağlar. Yağlama alüminyum, bakır benzeri sürtünmeyi uzun vadede de az tutabilecek metal parçaları da içerebilir. Uzun zamanlı kullanımda yağın eksilmesi sonucu arada bir bariyer oluşturacak olan bu malzemeler, çelik-çelik sürtünmesinden daha az bir sürtünme ve aşınmayı gerçekleştirecektir.

6.6.4 Meme Seçimi

İşlem zamanı 7 Analiz bölümünde açıklandığı üzere, ortalama dakikada 2 adettir. Bu durumda hazır parça olarak kendinden ısıtmalı dağıtıcı kanalsız beslemeli meme kullanmak ekonomik olacaktır. Sıcak meme seçimi ile ilgili faydalar ve zararlar kısaca toparlanırsa [22] :

Avantajları,

- Normal işlem ayarlarında en hızlı işleme başlayabilen meme çeşididir.
- Gecikmeli üretim olursa, fazla ısınma veya donma olmamaktadır.
- Sıcak yolluğa göre daha az enerji kullanımıdır.
- Seri üretimde en verimli tiptir.

Dezavantajları,

- Soğutma kanallarını, maçaları engelleyebilir, yerleştirmede problem olabilir.
- Diğer tiplere göre fazladan kontrol gerektirir.
- Renk değişimi istenirse, çevrim uzun sürer.

Hasco firmasının Z3310/32x71 tipteki memesi seçilmiştir. TechniShot isimlendirmesi ile de anılan bu meme, torpido benzeri bir uca ve dışarı ile yalıtımı sağlamak için işlenen plastiğin dolacağı bir boşluğa sahiptir. Meme seçiminde üretici firmanın tavsiye ve önerileri gözetilmelidir.11.2.2 Sıcak Meme Girişi Seçimi bölümündeki tablo, Hasco marka meme seçiminde etkin rol oynamıştır.

22 DuBois & Pribble, 1995 5th edition, Plastics Mold Engineering Handbook, Chapman & Hall, USA, sf.385

6.6.5 İticiilerin Yerleşimi

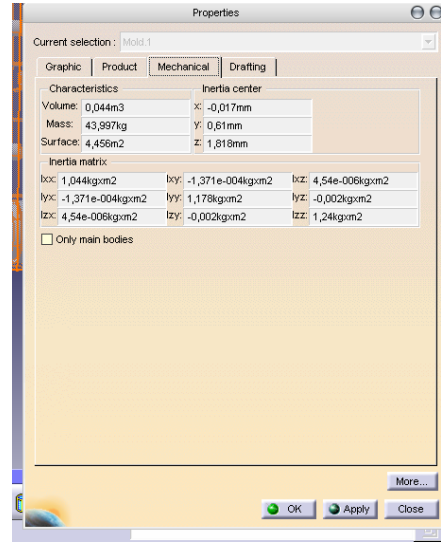
Eriyik yeterince katılaştıktan sonra kalıp açılır ve parça erkek kalıpta kalır. Zaten enjeksiyon ile üretim tekniğinin tek sınırlaması da erkek kalıpta kalacak parça veya kalıp tasarımıdır. Parçanın kalıpta kalması genellikle soğuma sırasındaki büzülme kullanılarak gerçekleştirilir. Erkek kalıp üzerine, küçülürken sıvıanan parça hem dişi kalıptan ayrılır hem de erkek kalıba tutunur ve açılma esnasında erkek kalıpta kalır. Kalın parçalarda aynı durum, dişi kalıbın yüzeyinden ayrılan parçanın yeterli soğumaması, ütüleme basıncına rağmen yüzeyin dalgalı kalması ile sonuçlanabilir. Aynı şekilde, parçanın kalıbın yüzeyinde kalması için bazı konstrüktif tedbirler (kalıpta ters aç oluşturacak eklentiler) alınabilir, fakat bu durum da ekstra işlem maliyeti gerektirir.

6.6.6 Kalıp Taşıma Halkaları

Kalıp tamamı ile bitirildikten sonra, kalıp (Mold 1) komponentinde sağ tuşla özelliklere girilerek toplam ağırlık tayin edilmelidir. Daha sonra kalıbın taşınmasını kolaylaştırmak için kalıba, yükü taşıyabilecek ayaklar monte edilebilir. Eklenen ayakların bilgilerine Ek B : Katalog Bilgileri bölümünden ulaşılabilir.



Ayaklar formuna uygun olarak ayaklar 2şer adet eklenmiştir.



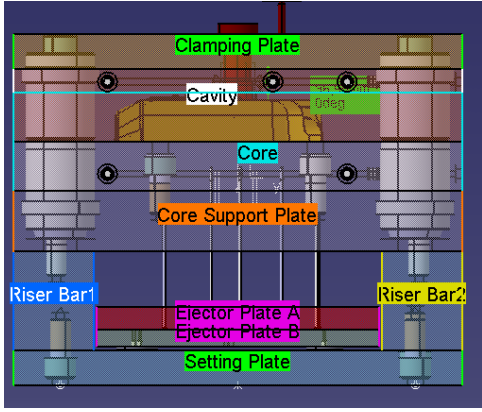
Şekil 6-13 Kalıbın Mekanik Özellikleri Gösterimi

6.6.7 Kalıp Elemanları Listesi

Kalıp için seçilen elemanlar aşağıda listelenmiştir. Listedeki hazır parçaların teknik resimleri ve detaylı bilgileri 11.2 Ek B : Katalog Bilgileri kısmında bulunmaktadır.

Tablo 6-5 içeriğindeki hazır parçaların seçim kriterleri 6 Kalıp Tasarımı bölümü boyunca anlatılmaktadır, henüz bahsedilmemiş hazır parçalar tabloda yer alabilirler.

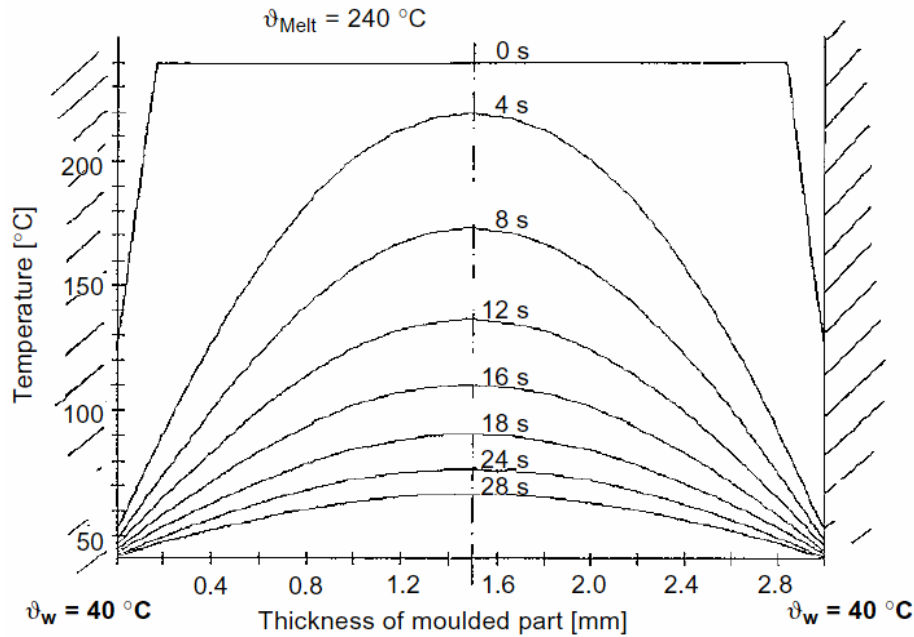
Tablo 6-5.Kalıpta seçilen hazır parçaların listesi

Eleman Tipi	Marka	Tip
Kalıp (bkz.Şekil 6-14)	Hasco	MBA5-153-346396
 Şekil 6-14 Kalıp İsimlendirmesi	Üst Bağlama Plakası	27 x 346 x 396 mm
	Dişi Kalıp Plakası	56 x 346 x 396 mm
	Erkek Kalıp Plakası	76 x 346 x 396 mm
	Destek Plakası	52 x 346 x 396 mm
	Aralık Plakası (A ve B)	86 x 62 x 396 mm
	İtici Plakası A	17 x 218 x 396 mm
	İtici Plakası B	13 x 218 x 396 mm
	Alt Bağlama Plakası	27 x 346 x 396 mm
	İçten Isıtmalı, Doğrudan Nokta Girişli Meme	Hasco Z3310/32x71
	Meme Burcu	Hasco Z3308/32x27
Meme Burcu Uzatması	Hasco (işlenmiş)	Z3309/32x15
Merkezleme Civataları	Hasco	Z00/56/42x75
Merkezleme Civata Burçları	Hasco	Z10/46/42
Sabitleme Civataları	Hasco	Z30/16x50
		Z30/16x30
		Z33/4x8
		Z33/8x25
İticiler	Hasco	Z42/2.5x125
İtici Plaka Pulları	Hasco	Z55/28x3
İtici Mili	Hasco	Z02/10x120
İtici Mili Bası Yay	Hasco	Z60/11x90
İtici Kılavuzları	Hasco	Z02/10x100

İtici Mili, Kılavuzu Sabitleme Civataları	Hasco	Z35/6x12
Soğutma Kanal Bağlantıları	Hasco	Z88/13/14x1.5
Soğutma Delik Tıkaçları	Hasco	Z942/10
Kalıp Taşıma Halkaları	Hasco	Z71/8

6.7 Soğutma Sistemi Tasarımı

Plastiğin kalıba dolacak eriyik olması için verilen ısı, kalıba dolduktan sonra katılaşma süresince geri alınır. Soğuma işlemi enjeksiyon çevriminin en uzun bölümünü oluşturur, bu yüzden mümkün olduğunca kısa zamanda kalıptan büyük miktarda ısı çekilmeye çalışılır. Kalıp tasarımının en belirsiz kısmıdır, çünkü duruma etki eden çok parametre vardır ve bunları tamamen içeren bir denklem yazmak mümkün değildir. Isı geçişinin temel kanunları gözönünde bulundurularak ve ampirik yöntemlerle elde edilen tavsiyelere dayanılarak bazı hükümler çıkarmak mümkündür.



Şekil 6-15 ABS termoplastiğinin, aynı soğutma düzeneğinde, zamana bağlı, cıdar kalınlığı - sıcaklık etkisi (hesaplama) [23]

23 Dipl.-Ing. O. Zöllner, Process Variables as Production Cost Factors in the Injection Moulding of Thermoplastics: Melt, Mould and Demoulding Temperature, Cycle Time, p-v-9-Diagrams, Bayer AG, elektronik versiyon, [<http://plastics.bayer.com/plastics/emea/en/literature/pdf/2055.pdf?docId=2055>]

Örnek olarak Şekil 6-15'te 3mm kalınlığındaki, ABS malzemeli bir ürünün, orta kısımlarının nasıl daha geç katılaştığı görülmektedir. Bu durum soğutma sisteminin etkinliği dışında, ürünün kalıptan çıkacağı kabul edilen sıcaklık seçiminin de önemini göstermektedir. Diyagramdaki değerlere bakılırsa, ürünün 80°C yerine 100°C'de katılaştığı kabulü, ortalama 10% üretim artışı sağlayacaktır.

6.7.1 Sıcaklık Farkları (ΔT)

3 kategoride sıcaklık farkı vardır [24] :

- Eriyik haldeki plastik sıc. – kalıptan çıkarken plastiğin sıc.
- Soğutma suyunun kanaldan çıkış sıc. – giriş sıc.
- Plastik sıc – temas ettiği kalıp yüzeyi sıc.

Enjeksiyon halindeki plastiğin sıcaklığı kalıbın dolmasını birebir etkiler. Dar kesitli bir üründe daha yüksek sıcaklıkla viskozite azaltılarak dolum sağlanır.

Soğutma suyunun asli görevi ürünü dengeli soğutmaktır. Genel anlamda soğutma suyunun giriş ve çıkış sıcaklıkları arasında 5-6 °C'den fazla fark istenmez [24], aksi takdirde daha az katılaşmış taraf kalıptan çıktıktan sonra soğumaya devam ederek büzülecek ve az soğuyan tarafa doğru çarpılma meydana gelecektir. Büyük düzlemsel parçalarda bu fark 1-2 °C'ye kadar inmektedir [24].

Plastik ile ilk kalıp sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkı ne kadar fazla ise, ısı geçişi o kadar fazla olacaktır ve sıcaklık farkı zamanla sıfıra yakınsayacaktır.

6.7.2 Isıl İletkenlik

Çeliklerin yüksek ısı iletkenlik karakterleri ve işlenebilirlik özellikleri kalıpçılıkta kullanılmalarının esas etkenidir. Buna nazaran plastiğin ısı iletkenliği çok kötüdür.

Soğuma esnasında ürün erkek (hareketli) kalıp üzerine doğru büzülür, bunun ürünü çıkarırken ürünün erkek tarafında kalması gibi artı bir etkisi de vardır. Özellikle kalın kesitli parçalarda bu durum parçanın dişi kalıp yüzeyi ile temasının kesilmesine ve dişi kalıptan yapılan soğutmanın verimsiz olmasına sebebiyet verir [24]. İnce cidarlı parçalarda ise tam tersine kalıbın ısı iletkenliği o kadar önem taşır ki BeCu benzeri yüksek iletkenlik katsayısına sahip malzemelerin de kullanıldığı görülmektedir. Gerekirse normalden daha sık ve fazla soğutma kanalı kalıp ayırım yüzeyine daha

24 H. Rees, 1995. Mold Engineering, Carl-Hanser Verlag, Donauwörth, sf.266.

yakın yerleştirilebilir. Maliyeti arttıracak bu yöntemler yükselen üretkenlik ile olumlu seçimlerdir.

6.7.3 Isı-Sıcaklık Etkilenmesi

Genel kaide verilen ısıya karşılık sıcaklığın doğrusal yükseldiğidir. Amorf plastikler (PS, ABS, Vinyl,..) için durum aynen böyledir. Fakat kristal içerikli plastikler (PE, PA, PET,..) belli bir sıcaklıkta ısıyı sıcaklıklarını arttırmak için değil, içlerindeki kristali eritmek için kullanırlar. Sonuç olarak işlem aynıdır sadece gereken ısı alımı daha fazla olacaktır.

6.7.4 Soğutma Suyu Akışı

Akış önemli bir parametredir. Genel olarak laminar bir akış tercih edilmez. Bunu laminar akışın sadece bir kısmının, türbülans akışta ise birçok partikülün soğutma kanalı duvarlarına etki etmesi olarak açıklayabiliriz [25]. Akışı etkileyen en önemli faktör Reynolds (Re) sayısıdır. $Re > 4000$ durumu türbülans akışı gösterir. Analiz esnasında, programları genelde Reynolds sayısını 10000 alırlar.

Reynolds sayısı duvarların yüzey kalitesi ile ters orantıdadır. Kaba işlenmiş yüzeyler akışı bozacak ve soğutma için daha iyi şartı sağlayacaktır, fakat bu durum da pürüzlü yüzeyin kolay paslanması anlamına gelir. Bu yüzden soğutma kanalları kaba işlendikten sonra ENP (electroless nickel process) benzeri bir işlemle kaplanır veya paslanmaz çelik kalıp malzemesi olarak kullanılır.

6.7.5 Analitik Çözüm

Analitik çözümler bazı öngörülerini yapmamızı sağlamaktadır. Mesela Denklem 6-3'te soğutma zamanına tek boyutta ısı geçişi yardımı ile yaklaşmak mümkündür [26].

Denklem 6-3 Bir plaka için tek boyutta ısı geçişi denklemi

plaka kalınlığı	$s := 2.5^4$	mm
eriyecek sıcaklığı	$T_a := 210 + 273.15$	K
kalıp sıcaklığı	$T_w := 30 + 273.15$	K
kalıptan çıkma sıcaklığı	$T_b := 81 + 273.15$	K

25 H. Rees, 1995. Mold Engineering, Carl-Hanser Verlag, Donauwörth, sf 269.

26 H. Martin, 1984. in VDI-Wärmeatlas, VDI Verlag, Düsseldorf.

eriyigin ortalama isil
difüzyon katsayisi

$$a := 0.08$$

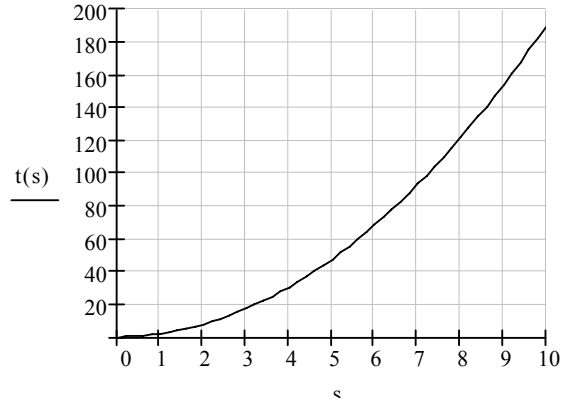
$$\frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$$

$$t := \frac{s^2}{\pi \cdot a} \cdot \ln \left[\frac{4}{\pi} \left(\frac{T_w - T_a}{T_w - T_b} \right) \right]$$

$$t = 12.279 \quad \text{s}$$

Teorik olarak, kalıp yüzeyinin sürekli olarak 30°C’de kalması sağlanabilirse, plastik 12 s’de tam katılaşmasını gerçekleştirecektir. Bu durum pratikte, kalıp yüzeyinin soğutulmasında kullanılan soğutma sıvısının ısı geçişini kalıp malzemesi üzerinden yaptığı ve sıcaklık farkları büyük olduğu için, ulaşılması imkansız bir noktadır. Fakat bu tarz yaklaşımlar, sonucun ideale ne kadar yaklaştığını göstermesi için gereklidir.

Denklem 6-3 değerleri kullanılarak, ürün cidar kalınlığının 10mm’ye dek artışı sonucu soğutma zamanının parabolik artışı görülmektedir. Hızlı üretimin getirdiği birim fiyat düşüklüğü cidar kalınlıkları artışı ile yokolmaktadır. Bu yüzden konstrüktör ürünü değişmeyen ve en az cidar kalınlığında ortaya çıkarmalıdır.



Şekil 6-16 Ürün cidar kalınlığı - Soğuma zamanı diyagramı

Soğutma kanallarının yerleşimleri de önemlidir. Konuyla ilgili hesaplamalar ve bunların deneysel tasdiki sonucu [27], özetle :

- Kalıp yüzeyi ile soğutma kanalları arasındaki mesafe arttıkça, soğuma zamanı doğrusal olarak artar (eğim $\cong 20\%$).
- “Soğutma kanalları arasındaki mesafe arttıkça, soğuma zamanı doğrusal olarak artar (eğim $\cong 20\%$).
- Soğutma sıvısı giriş sıcaklığı arttıkça, soğuma zamanı doğrusal olarak artar (eğim $\cong 10\%$).

- Soğutma sıvısı debisi arttıkça, soğuma zamanı parabolik olarak düşer.

Sonuçlar, ısı transferi için kullanılan suyun debisinin en etkili parametre olduğunu göstermektedir. Gerekli su debisi, Denklem 6-4'te gösterildiği gibi kaba bir yaklaşımla hesaplanabilir. Sonucun birçok etkiyi yoksayarak hesaplandığı ve bir başlangıç değeri olduğu unutulmamalıdır. Önemli olan soğutma için kullanılan sıvının doğruluğunu (burada su) ve/veya genelde uygulandığı gibi şebekeden yapılacak bir bağlantının debisinin yeterliliğini sınamaktır.

Denklem 6-4 Soğutma Suyu Debisi Yaklaşım Hesabı [28]

$$\text{Plastik yoğunluğu } \rho := 1.1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \quad V := 86 \text{ cm}^3$$

$$27 \text{ saniyede bir çevrim, ortalama saatte} \quad k := 120 \text{ çevrim}$$

$$\text{Kalıba enjekte edilen plastik miktarı} \quad G := \rho \cdot V \cdot k \cdot \frac{1}{1000} \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\text{Malzeme enjeksiyon sıcaklığı} \quad T1 := 210 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Kalıp sıcaklığı} \quad T2 := 30 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Su giriş sıcaklığı} \quad T3 := 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Su çıkış sıcaklığı} \quad T4 := 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Plastik özgül ısısı} \quad c := 1748 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$\text{Plastik ergime ısısı} \quad q := 0 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg}}$$

$$\text{Kanallar erkek ve dişi plakada} \quad K := \begin{pmatrix} 0.64 \\ 0.5 \end{pmatrix}$$

Kanallar destek plakalarına açılmış

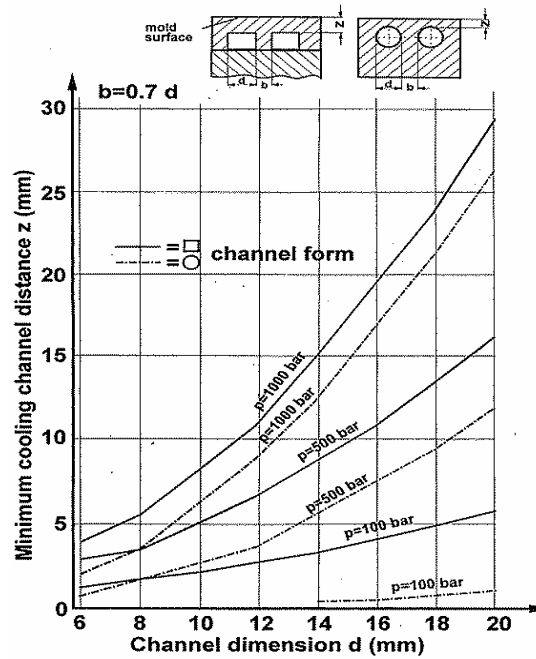
$$Q := G \cdot \frac{[c \cdot 0.239 \cdot 10^{-3} \cdot (T1 - T2) + q]}{K_1 \cdot (T4 - T3) \cdot 60}$$

$$Q = 5.691 \frac{\text{lt}}{\text{min}}$$

Sonuçtan, istenen üretilebilirlik ve tahmini sıcaklık değerleri için 5 lt/dakika 'lık bir soğutma suyu çevriminin yeterli olacağı anlaşılmaktadır. Bu durumda şebeke suyu basıncı yeterli olacaktır, ayrı bir motor koymaya ihtiyaç olmayacaktır. Denklemden kullanılan K değeri su içindir, farklı sıvılar için de değer değişikliği ile bu yaklaşım kullanılabilir. Denklemin geçerliliği Bölüm 7 Analiz içeriğinde sınanmıştır.

6.7.6 Mekanik Sınırlamalar

Basit anlamda soğutma kanalları yüzeye mümkün olduğunca yakın yapılmalıdır. Fakat soğutma kanalları yüzünden kalıbın enjeksiyon basıncını taşıyan kesiti azalacak ve sehim artacaktır. Sırf çelikle yapılan hesaplar (bkz. [29]) dahi, sonucun pek kontrol edilmeye ihtiyaç duyulmayan bir parametre olduğunu göstermiştir. Kanal formuna ve enjeksiyon basıncına göre, kanal çapı – kalıp yüzeyinden en az uzaklık [mm] diyagramı Şekil 6-17'de görülmektedir.



Şekil 6-17 Farklı enjeksiyon basınçları için, soğutma kanalı çapı - yüzeyden uzaklığı ilişkisi, kalıp malzemesi : çelik [30]

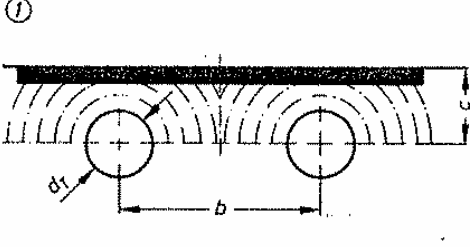
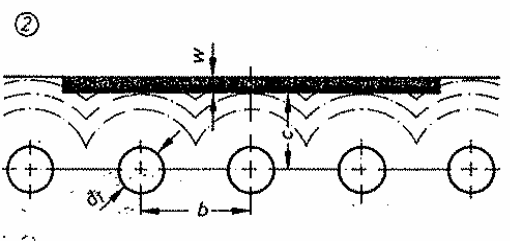
Soğutma kanallarının yüzeye mesafesi için belirli bir hesaplama yönetemi yaratmak zordur. Tablo 6-6 bazı ampirik yöntemlerle kanıksanmış, tavsiye nitelikli

29 E. Lindner, 1974. Berechenbarkeit von Spritzgießwerkzeugen, VDI-Verlag, Düsseldorf, sf.109.

30 N. Rao, K.O'Brien, 1998. Design data for plastics engineers, Carl Hanser Verlag, Bad Langensalza, Deutschland, sf 201.

parametreleri içermektedir [31]. Firmalar sayısal olarak fazla da farklı olmayan deneysel verileri ile tasarımı yapar ve 7 Analiz bölümündeki yöntemlerle sonucu denerler.

Tablo 6-6 Soğutma Kanalları için tavsiye edilen konum ve boyut kriterleri

			
Cidar Kalınlığı (w)	Kanal Çapı (d _T)	Yüzeyden Mesafe (c)	Kanallar Arası (b)
< 2 mm	8 – 10 mm	$2d_T < c < 3d_T$	$b < 3 d_T$
< 4 mm	10 – 12 mm		
< 6 mm	12 – 15 mm		

6.7.7 FEM ve CFD Yöntemleri ile Analiz

Son yıllarda, doğruluğuna güvenilirliğinin artması ve bilgisayarın hızlanıp ekonomik maliyetlerinin düşmesi sonucu, kullanımı giderek artan bilgisayar destekli analiz yöntemleri, bu projenin önemli bir kısmını oluşturmaktadır.

Akış analizleri için CFD (Computational Fluid Dynamics); gerilme, çarpılma analizleri için FEM (Finite Elements Method) matematiksel önergeleri kullanılmıştır. Bu yöntemlerin matematiksel altyapıları projenin konusu dışındadır. İlerleyen bölümlerde analiz için kullanılan yöntem ve nedenleri detaylı bir şekilde anlatılmıştır, burada kullanılan kaynaklardan, matematiksel yöntemlerin detayları hakkında ileri seviye bilgileri edinilebilir.

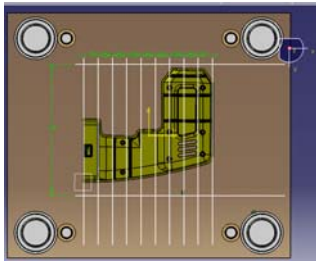
Özellikle soğutma kanallarının, üretim zamanı üzerinde dolayısı ile de parça başına maliyette etkisi yüksektir. Daha önce bahsedildiği gibi bazı yaklaşımlar ve hesaplamalar kullanılsa da, günümüzde doğruya en yakın sonuçları, doğru yapılmış analizler belirtmektedir. Analiz yapan programların matematiksel altyapısını algılayıp, parametrelerin seçilmesinde gösterilen özen, doğru bir analiz olmasının tek şartıdır.

31 A. T. Güneş, 2005. Plastik Enjeksiyon Kalıpları, TMMOB,Özkan Matb.Ltd.Şti., Ankara, sf.86.

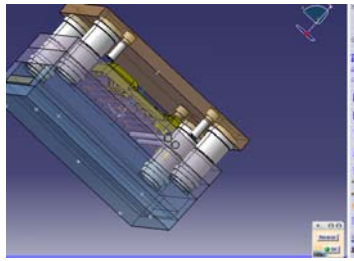
6.7.8 Tasarımın CAD Ortamına Aktarımı

Soğutma Kanalları konstrüksiyonu, daha önce bahsi geçen tavsiyeler ile yapılmış ve Bölüm 7 Analiz ile yeterliliği gösterilmiştir. Analiz sonuçlarının yeterliliği, sonucun Denklem 6-3 ile bulunan sonuçtan çok uzak olmamasına bağlıdır. Karar verilen süre, meme seçiminde birebir etkili olmuştur. Bu kararda tek sebep bulunmadığı gibi tek doğru karar da yoktur. Örnek olarak, kalıp malzemesi olarak ısı iletkenliği daha yüksek olan bir malzeme kullanılarak (BeCu veya BeCoCu gibi), soğuma ve çevrim zamanı kısaltılabilirdi. Bu durumda, eklenen ilk yatırım maliyeti, içten ısıtmalı meme yerine dıştan ısıtmalı ve sıcak yolluklu tasarım veya direk giriş soğuk yolluklu meme tasarım seçimi ile azaltılabilirdi. İki seçimin de farklı konstrüktif eklentileri ve birim maliyete negatif etkileri olacaktır. Tezde tüm çözümleri değerlendirmek yerine, bir çözümün baştan sona konstrüksiyonu yapılmıştır.

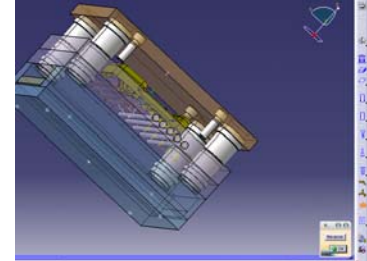
Soğutma kanalları Catia ile farklı şekillerde oluşturulabilir. Erkek ve Dişi kalıplar birer komponent olarak işlem ağacında yer almaktadırlar. Bunların her birindeki PartBody altında plakalar Part Design arayüzü ile işlenebilir. Doğrusal kanallar yüzeyden delik açılarak, spiral veya farklı şekillerdeki kanallar da Slot komutu ile boşaltılabilir. Mold Tooling Design arayüzü ile de bu işlem yapılabilir. Önce istenilen soğutma kanallarının merkezinden geçen çizgiler, 3 boyutta doğru olan bir düzlemde bir sketch olarak yaratılır (bkz. Şekil 6-18). Arayüzde bulunan  ikonu ile “Add Coolant Channel” komutu çalıştırılmaktadır. Komut oluşturulmuş bir sketch üzerindeki her elemana belirtilen özelliklerdeki (kanal çapı, dış açılması, havşa başı vb.) kanalları her bir eleman için tek tek (bkz. Şekil 6-19 ve Şekil 6-20) onaylatarak açmaktadır.



Şekil 6-18 Sketch ile



Şekil 6-19 Kanal eklemek 1



Şekil 6-20 Kanal eklemek 2

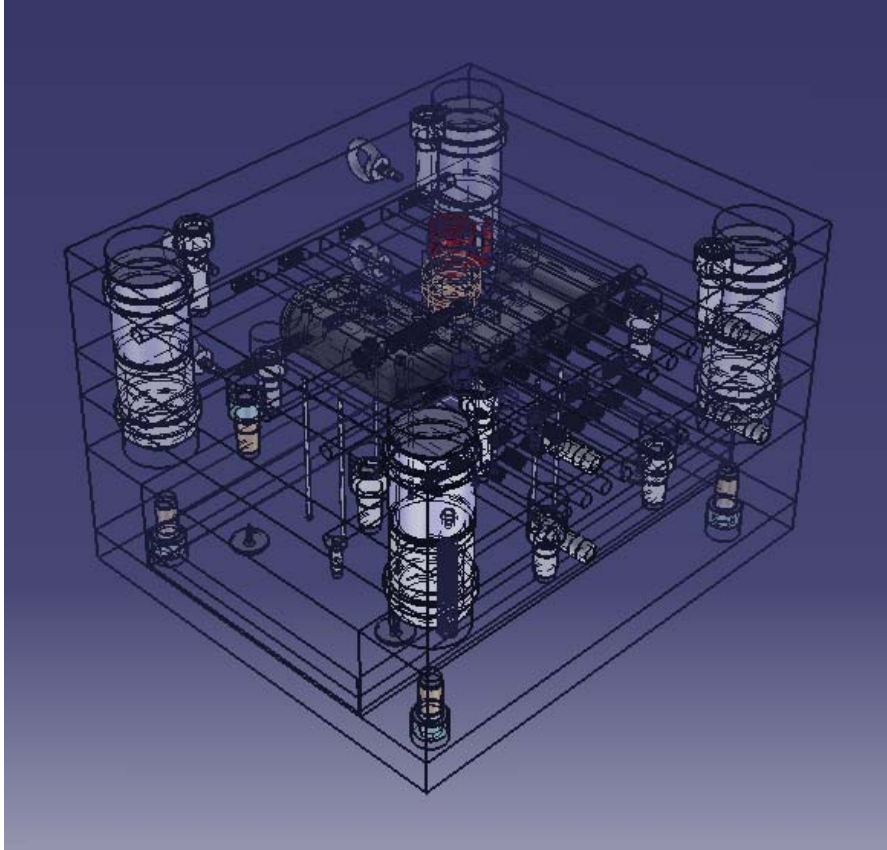
Bahsi geçen komut, Şekil 6-19 ve Şekil 6-20’de de görülen yeni katılar oluşturmakta ve daha sonra bunları işlemin gerçekleştirildiği plakadan (erkek, dişi kalıp veya benzeri) Boolean operatörü ile kaldırmaktadır. Komut sadece bir makrodur ve

soğutma kanallarının değiştirilmesi istendiğinde de kullanılabileceği düşünülmemelidir. Injection Side komponentinin altındaki Cavity Cooling (veya Ejection Side komponentinin altındaki Core Cooling) komponentinin içerisinde bulunan Cooling Body görünür yapıdır bu katılar değiştirildiği takdirde, kalıp güncellenerek yeni soğutma sistemi yaratılır.

Sistemde, soğutma sıvısının akışını engellemek ve/veya yönlendirmek amaçlı tıkaçlar ve sistemin dışarıya bağlantısını sağlayan valfler hazır parçalardır. Catia kataloğundan seçilebilir. Kullanılan parçalar Tablo 6-5'ten bulunabilir ve detaylar ekler bölümünde verilmiştir.

6.8 *Perspektif Görünüm*

Kalıbın ışıklandırma ve malzeme ataması ile, kalıp plakalarının saydamlaştırıldığı, perspektif görünümü Şekil 6-21'dedir.

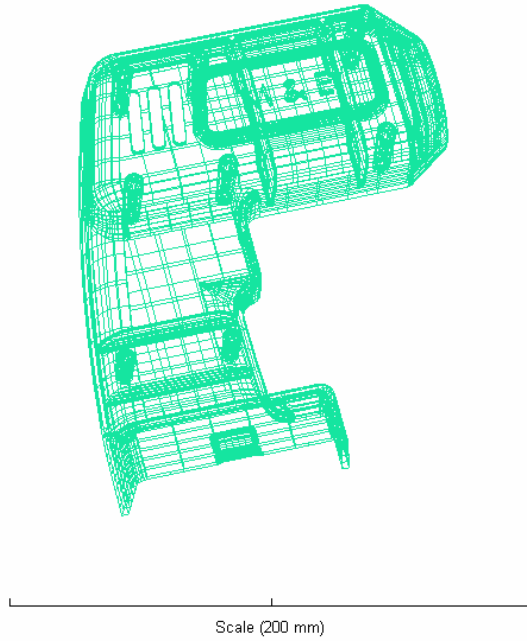


Şekil 6-21 Kalıbın ışıklandırma ve malzeme ataması ile görünümü

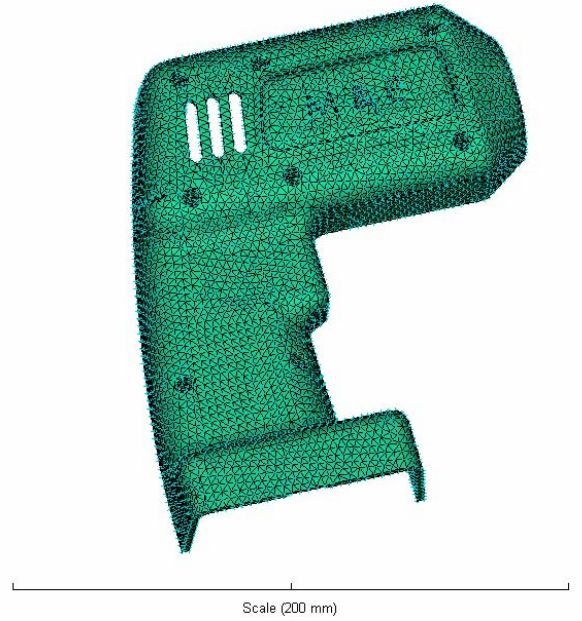
7 Analiz

CFD ve FEM analizleri, basit formüllerle hesaplanamayan geometrinin, aynı formüllerle hesaplanabilecek geometrilere ayrıştırılması ile yapılır. Bu ayrıştırma sonunda da ağ örülerek (mesh), node adı verilen eleman köşeleri (vertices) ve nodeları birleştiren eleman kenarları belirlenir. Yapılacak tüm analizlerde doğruya yaklaşan sonuçlar elde edebilmek için mümkün olan en düzgün mesh geometrisi, yüksek eleman sayısı ile elde edilmelidir. Yükselen eleman sayısı analizin işlem zamanını arttıracığından, kullanılan elemanın analize etkisi bilinmeli ve mümkün olan en az eleman sayısı ile analiz yapılmalıdır. Her mesh programı farklı yöntemlerle geometriye otomatik bir mesh atar. Moldflow (Plastics Insight) programının Fusion adını verdiği yöntemle yüzeylere üçgen elemanlar (trias), verilen ortalama eleman kenar uzunluğu (global edge length) baz alınarak otomatik olarak oluşturulabiliyor. Fusion yöntemi, genel anlamda 2B bir algoritma ile ürünün üst ve alt yüzeylerini ayrı ayrı ayrıştırır. Aslında yöntem, ince cidarlı parçalara (sac, levha, plastik ürünler) uygulanan orta düzlem (midplane) meshinden çok farklı değildir. Analizin Fusion veya orta düzlem elemanları ile yapılmasında, elemanlar cidarlara akış ve ısı direnci 0 (sıfır) değerinde olan bağlantı elemanları (connector) ile ilişkilendirilir, bu yüzden de sonuçlar ve işleme zamanı çok yakın olacaktır. Tezde sadece akış ve soğuma değil, çarpılma analizi de yapılabilmesi için 3B elemanlar kullanılmıştır. Program hem düzeltmeleri Fusion elemanlar üzerinde yapabilmekte, hem de 3B elemanları ancak Fusion mesh tipinden dönüştürebilmektedir. Çarpılma analizinde gerilmelerin etkisi (hem yön hem de şiddeti) vardır. Gerilmeler (residual stresses) sonlu elemanlar yöntemi ile hesaplanırlar. 3B elemanlardan, birinci derece düzgün dörtyüzlü (tetrahedral) elemanlar (aynı nedenle 2B elemanlarda da birinci derece üçgen elemanlar), eleman içerisinde kesme kuvvetlerinin değişimini, sonlu elemanlar yöntemindeki matematiksel model yüzünden, yok ederler. Bu yüzden çarpılma analizinde, analiz özellikleri kısmında elemanların ikinci dereceye çıkarılma seçeneği vardır. İşlemsel zaman bir hayli artacağından, çarpılmanın da soğuma farkından olduğu bilindiğinden, sadece soğuma zamanının farklı olduğu, birbirine yakın bölgelerde eleman derecelerinin arttırılmasını öngören bir seçenek de sunulmaktadır.

Tetrahedral (düzgün dörtyüzlü) elemanların, akış doğrultusundaki uzunluklarının analiz sonucuna etkisinin olmadığı bilindiğinden [32], parça en kalın kesit alanı (2.5 mm) dikkate alınarak, eleman kenar uzunluğu parametresi 3 mm seçilmiştir. Bu değer ortalama eleman kenarı uzunluğudur ve algoritma elemanları bu değere yakın oluşturmaya çalışır. Ürünün yüzeye dik olan yerlerinde (ki bu durum Fusion için değil, daha sonra dönüştürülecek 3B mesh için geçerlidir) tabii ki 3mm mümkün olmayacaktır. Uzunluğun cidar kalınlığından büyük seçilmesi, kalınlık boyunca tek sıra eleman yaratılmasını kesinleştirmektedir. Her mesh atayan programda olduğu gibi, burada da eğriler boyunca (delikler, köşe yuvarlatmaları) eleman sayısını artırmak mümkündür, bu özellik Fusion mesh 3B meshe dönüştürülürken (tetra refinement) kullanılmıştır. Şekil 7-1 ve Şekil 7-2’de ürünün yüzey çizgileri (iges formatında yüzeylerin tanımlanmasından kaynaklanan, ayırıklaştırmada hiçbir etkisi yoktur) ve otomatik atanan Fusion mesh görülmektedir.



Şekil 7-1 Ürün genel görünümü



Şekil 7-2 Otomatik atanan mesh

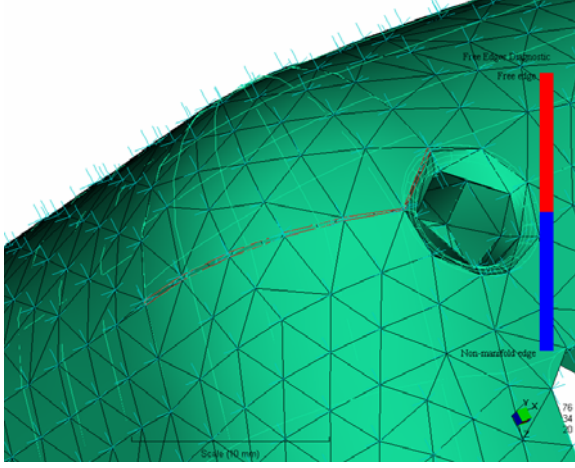
32 S.Yamakawa, C.Shaw, K.Shimada, Layered Tetrahedral Meshing of Thin-Walled Solids for Plastic Injection Molding FEM [elektronik versiyon].

7.1 Mesh İyileştirme

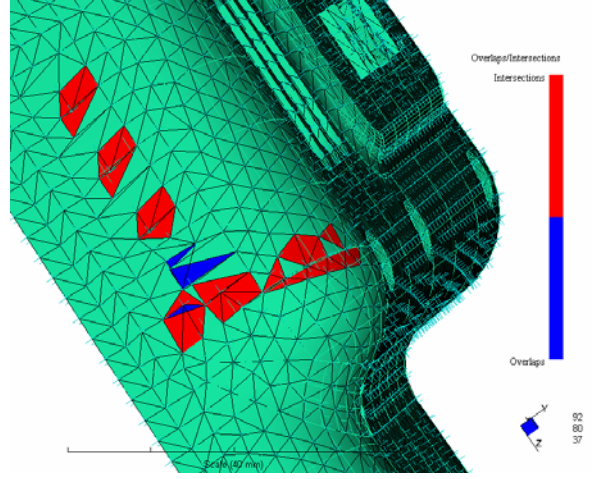
Çeşitli algoritmalar aracılığı ile otomatik atanan meshin, sonuca etki edecek kısımları iyileştirilecektir.

7.1.1 Otomatik İyileştirme (Mesh Repair Wizard)

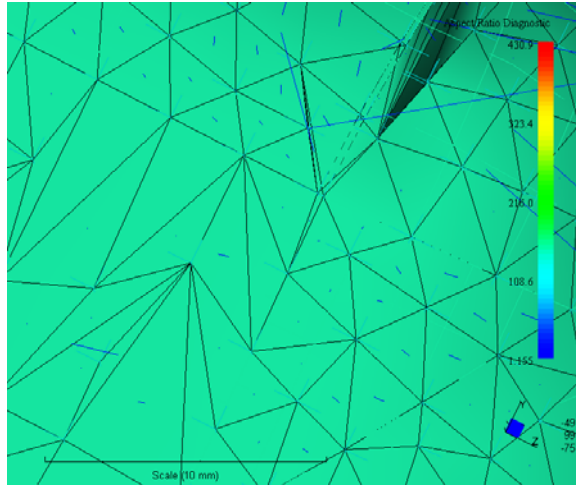
Programın öngördüğü hatalar ve düzeltmeleri yaptıktan sonraki istatistiği :



Şekil 7-3 Serbest kenarlara (Free Edges) örnek



Şekil 7-4 Eleman kesişme ve üstüste binmeye örnek



Şekil 7-5 Basıklık oranı (aspect ratio) sorununa örnek

Mesh Statistics :

Entity counts-----

Surface triangles 20739

Nodes	10369
Beams	0
Connectivity regions	1
Mesh volume	188.117 cm ³
Mesh area	752.467 cm ²

Edge details-----

Free edges	58
Manifold edges	31076
Non-manifold edges	2

Orientation details-----

Elements not oriented	359
-----------------------	-----

Intersection details-----

Element intersections	8
Fully overlapping elements	0
Duplicate beams	0

Surface triangle aspect ratio-----

Minimum aspect ratio	1.154903
Maximum aspect ratio	430.859538
Average aspect ratio	1.930124

Görüldüğü üzere serbest kenar, yönelim (orientation), kesişme ve basıklık oranı sorunları devam etmektedir. Bu sorunlar analizin yapılmasını engellemeyecek fakat sonuçların gerçekçiliğini etkileyecektir, sorunların tam olarak ne oldukları hakkında bilgi ekler bölümünde bulunmaktadır.

7.1.2 Eleman Bazlı İyileştirme

7.1.2.1 Aspect Ratio (Basıklık Oranı)

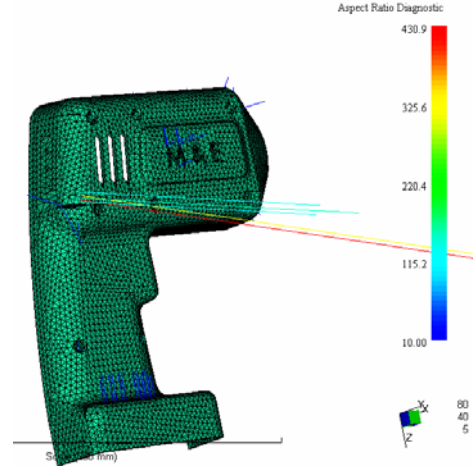
Aspect ratio statistics

Min aspect ratio 1.154903

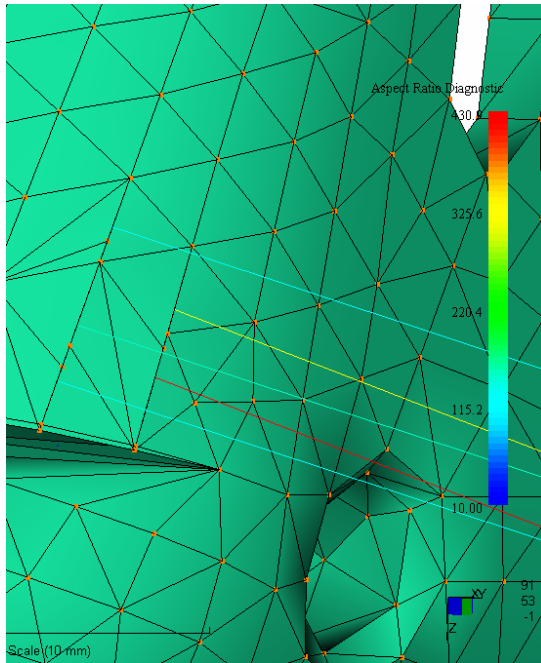
Max aspect ratio 430.859538

Average aspect ratio 1.930124

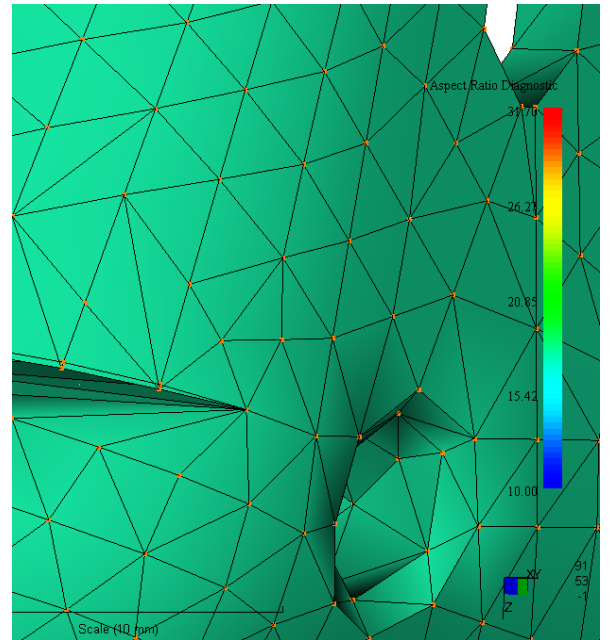
Number of elements greater than 10.000000 is 68



Şekil 7-6 Basıklık Oranı İstatistiğinin Görüntülenmesi



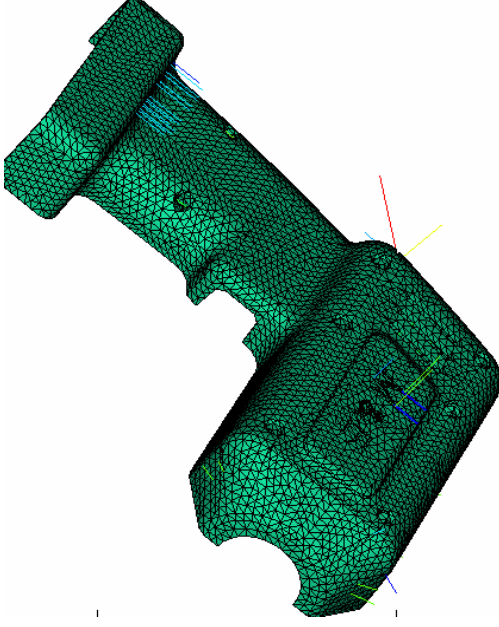
Şekil 7-7 Sorunlu bölgeye örnek



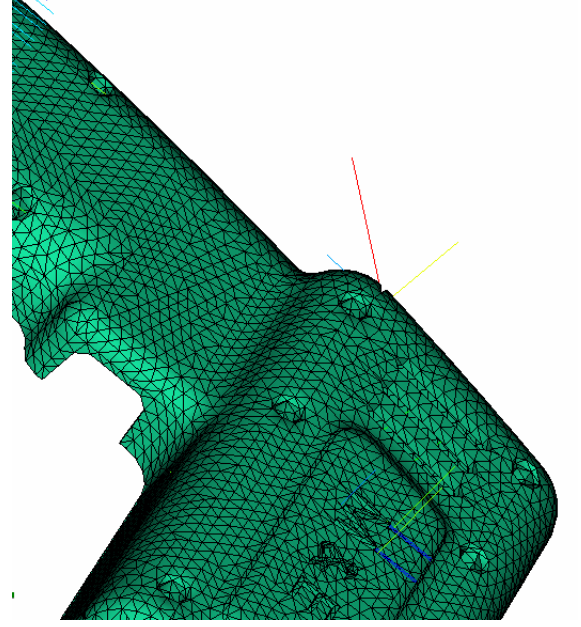
Şekil 7-8 Nodeları birleştirerek (Merge Nodes) düzeltilmiş mesh

7.1.2.2 CAD Hatası ve düzeltme

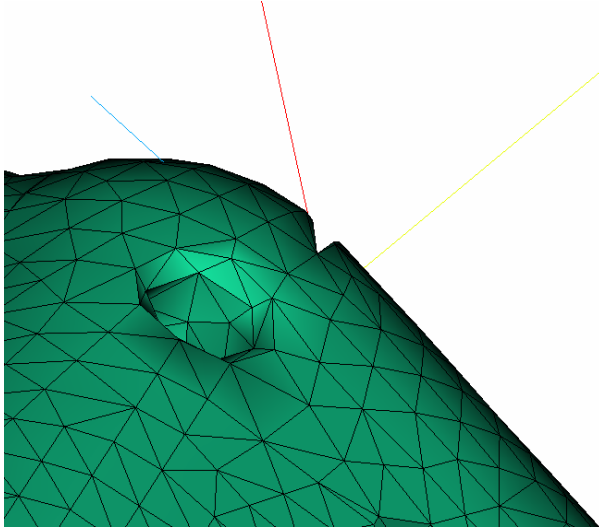
Fazlaca yüksek basıklık oranları incelenirken yüzey hatası bulundu. Tasarım esnasında veya programlar arası dönüşümlerde oluşabilecek bu hata sonuçları etkileyeceğinden, doğruya mümkün olan en yakın benzetmeler için nodelarda konum değişiklikleri yapıldı.



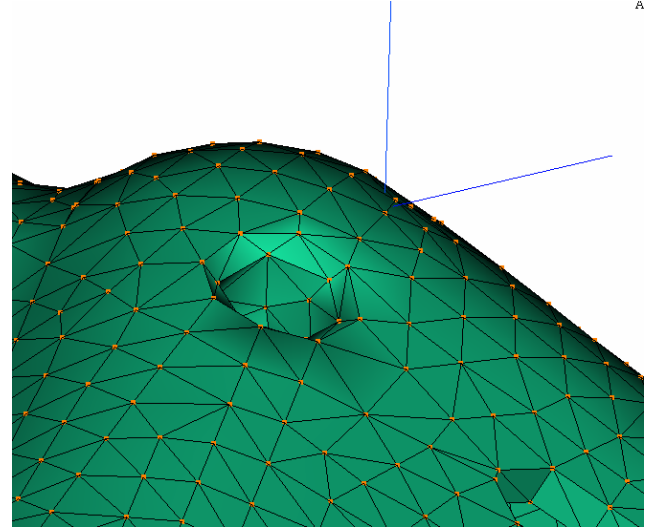
Şekil 7-9 Modelin uzaktan görünümü



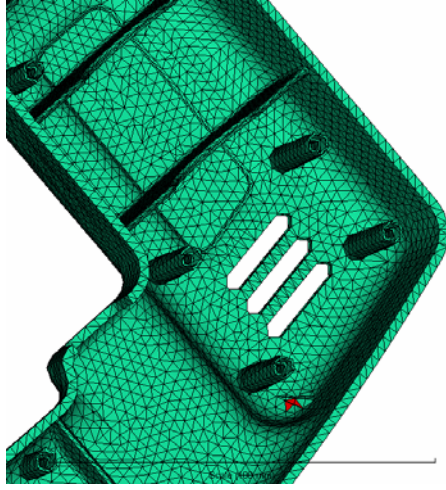
Şekil 7-10 Yakınlaşan ve belirginleşen hata



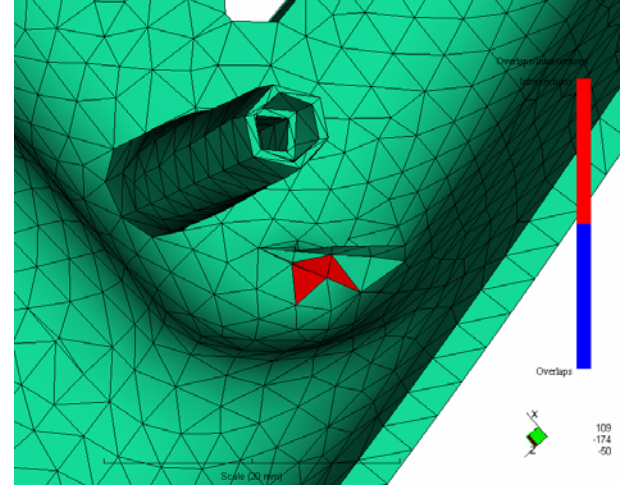
Şekil 7-11 Hata tanımı



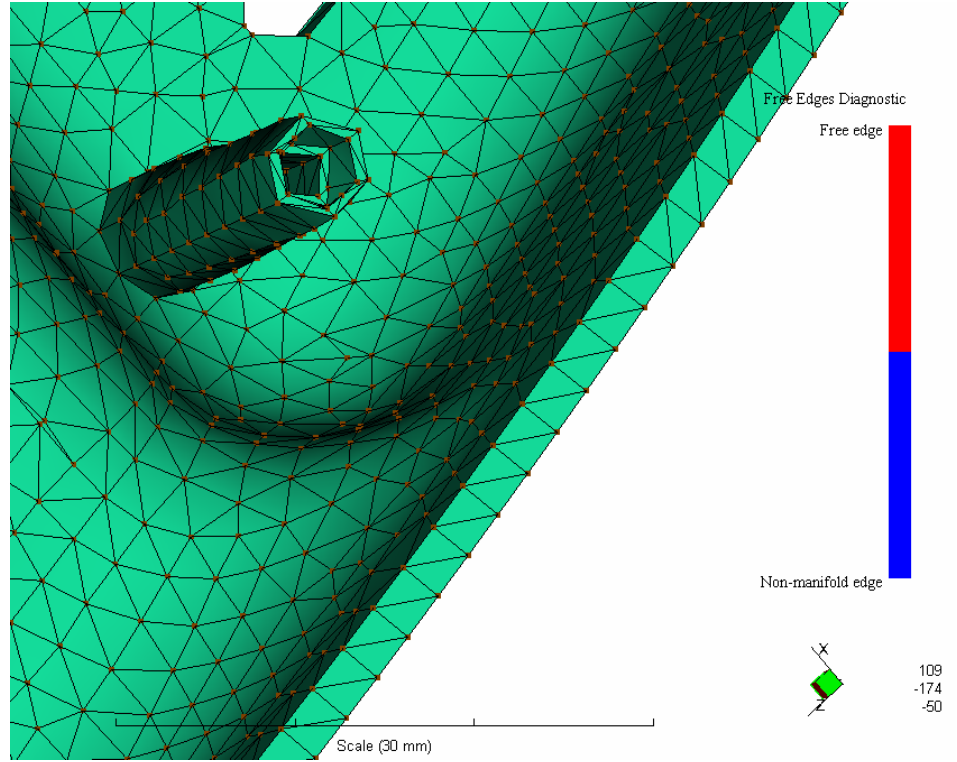
Şekil 7-12 Düzeltilmiş model



Şekil 7-13 CAD dönüştürme hatası, genel



Şekil 7-14 CAD dönüştürme hatası, yakın



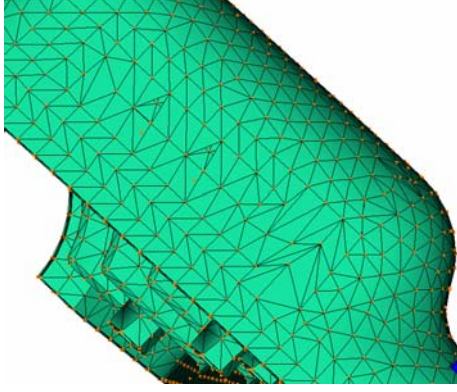
Şekil 7-15 Gerçeğe yakın, düzeltilmiş hal

7.1.2.3 Kesişme ve üstüste binme (Intersections & Overlapping)

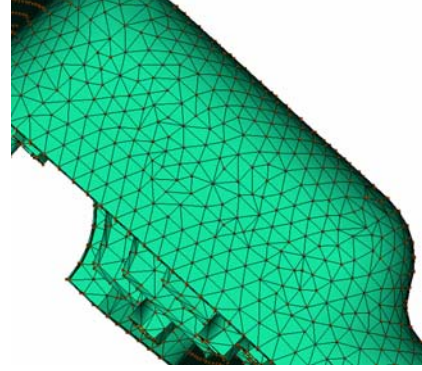
Aynı katmanda birden fazla elemanın bulunması durumudur. Tüm meshleme programlarında olduğu gibi Moldflow programında da menüden bu tarz elemanlar taratılarak işaretlenebilir. Modeldeki kesişen ve üstüste binen elemanlar silinerek uzaklaştırıldılar, bunun sonucu yeni serbest kenarlar ortaya çıkabilir.

7.1.2.4 Eleman iyileştirme

Yüzeyde yapılanması beğenilmeyen mesh düzeltildi, önceki ve sonraki durum şekillerde görülmektedir.

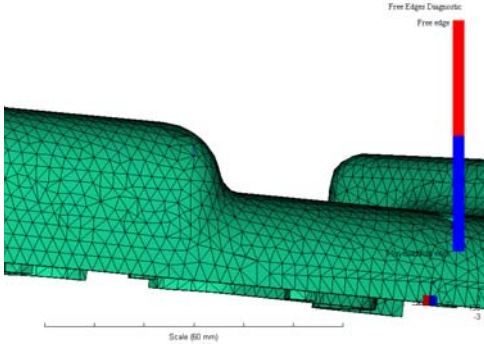


Şekil 7-16 Kötü yapılanmış mesh alanı

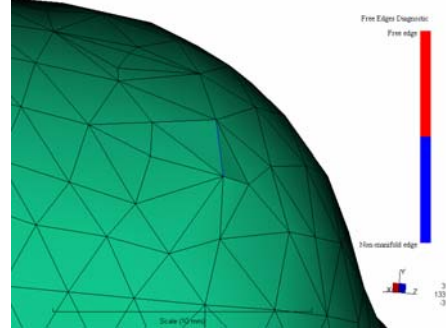


Şekil 7-17 Düzeltilmiş mesh alanı

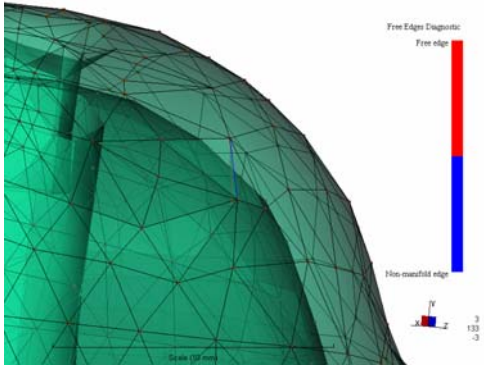
7.1.2.5 Serbest Kenarlar (Free Edges)



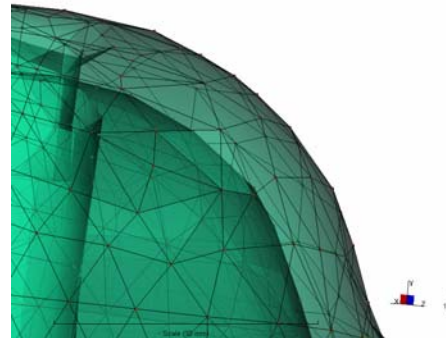
Şekil 7-18 Modelin serbest kenarları, genel



Şekil 7-19 Modelin serbest kenarları, yakın



Şekil 7-20 Modelin serbest kenarları, transparan



Şekil 7-21 Modelin düzeltilmiş hali, transparan

7.2 Analiz Sonuçları ve İstatistik Bilgiler

Kısaca sıralanan sorunlar, mesh tools (mesh araçları) menüsündeki, insert nodes, swap edge, create triangle, merge nodes ve benzeri komutlar yardımı ile düzeltildikten sonraki sonuçlar :

Entity counts-----

Surface triangles	21486
Nodes	10723
Beams	0
Connectivity regions	1
Mesh volume	86.1967 cm ³
Mesh area	751.296 cm ²

Edge details-----

Free edges	0
Manifold edges	32229
Non-manifold edges	0

Orientation details-----

Elements not oriented	0
-----------------------	---

Intersection details-----

Element intersections	0
Fully overlapping elements	0
Duplicate beams	0

Surface triangle aspect ratio-----

Minimum aspect ratio	1.154903
Maximum aspect ratio	10.607100
Average aspect ratio	1.855704

Match ratio-----

Match ratio	91.7%
-------------	-------

Reciprocal ratio 85.5%

Böylelikle modelin mesh yapısı yeterli düzeydedir ve Fusion isimli mesh tipi 3D tipine dönüştürülerek tetrahedral elemanlar oluşturulur.

Sonuçlar :

Entity counts-----

Surface triangles	0
Tetrahedral elements	241770
Nodes	44046
Beams	0
Connectivity regions	1

Intersection details-----

Element intersections	0
Fully overlapping elements	0
Duplicate beams	0

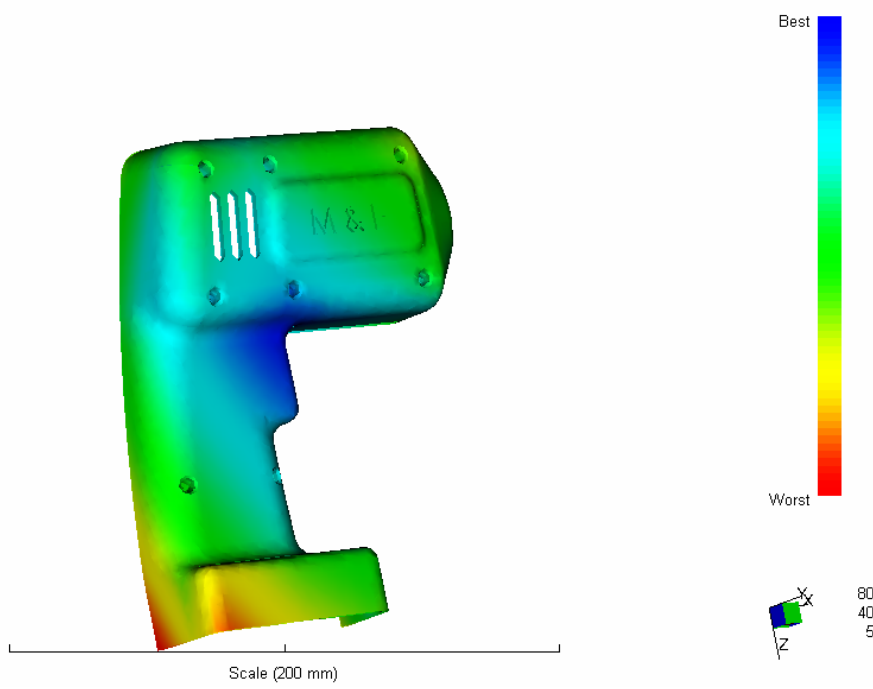
Tetra aspect ratios-----

Minimum aspect ratio	1.169301
Maximum aspect ratio	115.905859
Average aspect ratio	9.204569

Oluşan tetrahedral elemanlarda herhangi bir sorun bulunmamaktadır. Tavsiye edilen en büyük basıklık oranı (aspect ratio) 50 civarındır. Dikkat edilirse en büyük basıklık oranı bu oranın üzerindedir, fakat ortalamanın yeterince düşük olması endişeyi ortadan kaldırmaktadır.

Bölümde bahsi geçen Dolum ve Akış (Fill & Flow), Soğuma (Cooling), Çarpılma (Warp) Analizlerinin detaylı bilgisi Ekler bölümünde bulunmaktadır.

7.2.1 Meme Girişi



Şekil 7-22 En iyi enjeksiyon girişi analizi sonucu

Tek meme girişi için, yerinin tayini amacı ile bir analiz yaptırmak mümkündür. Sonuç beklendiği gibi geometrik merkez ve çevresidir.

7.2.2 Parametreler

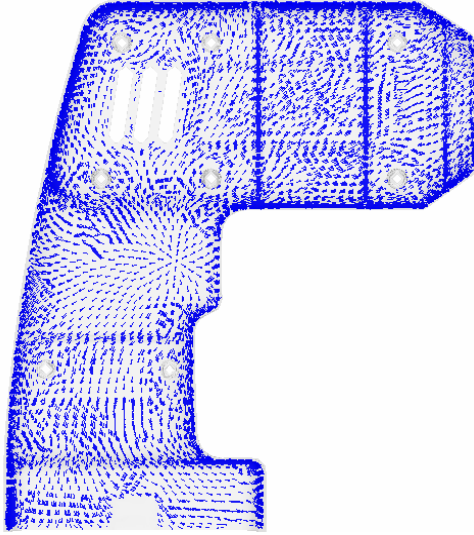
Analizler için parametreler şöyle belirlenmiştir :

Ortam Sıcaklığı :	25 °C
Kalıp yüzeyi sıcaklığı :	30°C
Enjeksiyon Sıcaklığı :	210°C
Kalıbın Açık Kalma Süresi :	5 s
Enjeksiyon, Ütuleme, Çıkarma işlemleri toplam süresi :	≅ 20 s

Kalıp Malzemesi :	Takım Çeliği P-20
Yoğunluk :	7.8 g/cm ³
Özgül Isı :	460 J/kg °C
Isıl İletkenlik :	29 W/m °C
Elastisite Modülü :	200 Gpa
Poisson Oranı :	0.33
Isıl Genleşme Oranı :	1.2e-005 1/°C

Soğutma Kanalları Çapı :	10 mm
Soğutma Kanalları – Parça Mesafesi :	25 mm
Soğutma Kanalları adedi :	10
Soğutma Kanalları arası mesafe :	30 mm
Soğutma Kanalları, parçadan dışarı taşması :	90 mm
Soğutma Sıvısı :	Su – 20 °C
Giriş Debisi :	5 lt/min
Yoğunluk :	0.988 g/cm ³
Özgül Isı :	4180 J/kg °C
Isıl Geçirgenlik :	0.643 W/m °C
Viskozite :	2.86 10 ⁵ Pa s
Sıcaklık Yakınsama Toleransı :	0.05
Yapılacak en fazla İterasyon adedi :	50
3B Isı Geçişi için Zaman Adımı :	3

7.2.3 Akış Analizi



Şekil 7-23 Parça içindeki akışın şematik gösterimi

Akış (Flow) Analizi, hem dolum (fill) hem de ütüleme (packing) periyotlarını içermektedir. Akışın beklendiği gibi memenin birleştiği noktadan parça içinde yönelimi Şekil 7-23 'te gösterilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, akışın düzgün yönelmesi, köşe veya delikler etrafında döngü yapmaması ve tek bir çizgi üzerinde birleşmemesidir (bu tarz bir birleşme mukavemeti fazlaca düşürecektir).

Summary at velocity/pressure switch-over

Injection pressure at velocity/pressure switch-over = 72.3063 MPa

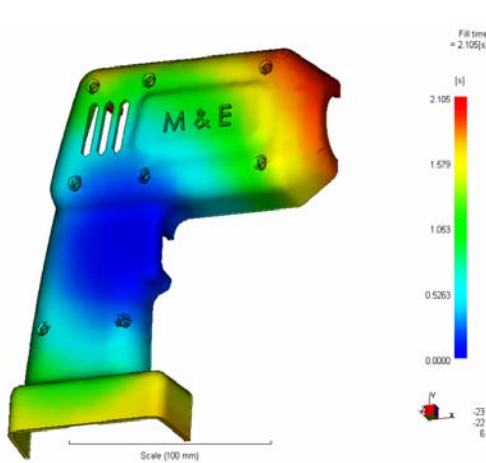
Volume filled at velocity/pressure switch-over = 100.0000 %

End of filling phase results summary :

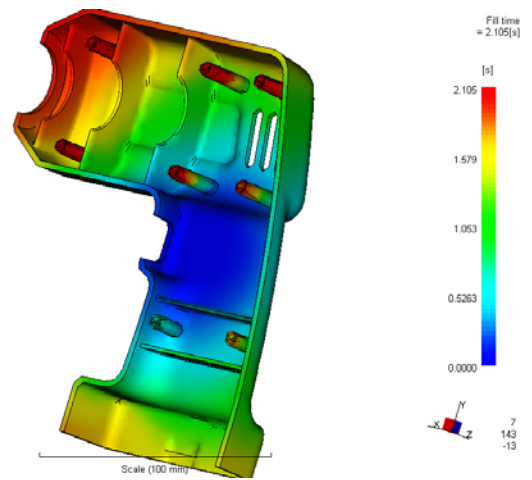
Total mass	=	86.4109 g
Frozen volume	=	12.0762 %
Injection pressure	=	50.0000 MPa
Current time from start of cycle	=	2.1052 s
Volumetric shrinkage - maximum	=	5.6003 %
Volumetric shrinkage - minimum	=	-0.5256 %

End of packing phase results summary :

Total mass	=	87.8836 g
Frozen volume	=	99.9848 %
Injection pressure	=	0.0000 MPa
Current time from start of cycle	=	27.1052 s
Volumetric shrinkage - maximum	=	5.8163 %
Volumetric shrinkage - minimum	=	-0.5256 %
Maximum velocity	=	0.0000 cm/s
Maximum shear rate	=	0.0000 1/s



Şekil 7-24 Dolum Zamanının Görsel Dağılımı,
Ön Görünüş



Şekil 7-25 Dolum Zamanının Görsel Dağılımı,
Arka Görünüş

7.2.4 Soğuma Analizi

Copyright Moldflow Corporation and Moldflow Pty. Ltd. All Rights Reserved.

Cool Analysis

Version: mpi500 (Build 04453)

Mesh Type = 3D Tets

Inlet node	Flowrate in/out (lit/min)	Reynolds No. range	Press. drop over circuit (MPa)	Pumping power over circuit (kW)
10542	4.23	10000.0 - 10000.0	0.0110	7.744e-04
10642	4.23	10000.0 - 10000.0	0.0110	7.744e-04

Coolant Temperatures

Inlet Coolant temp. Coolant temp. rise

node range over circuit

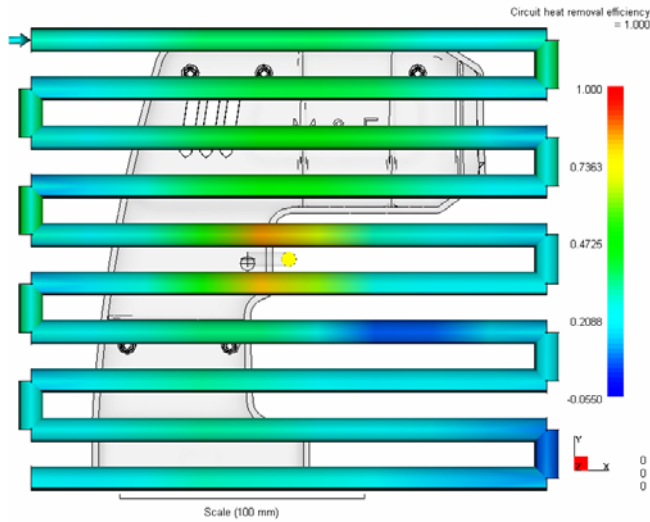
10542 25.0 - 25.7 0.7 C

10642 25.0 - 25.7 0.7 C

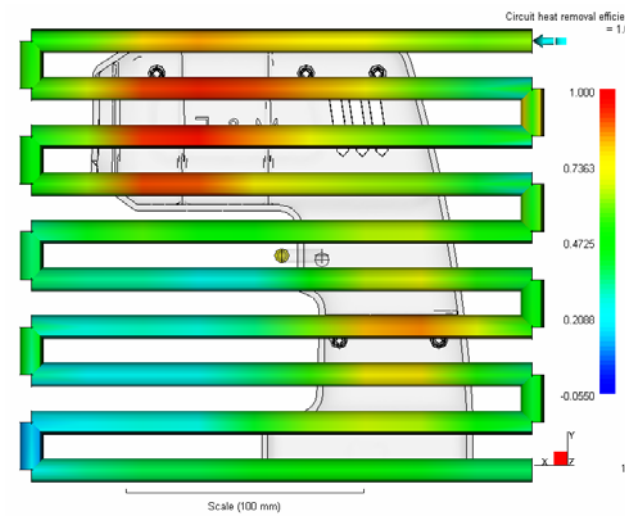
Summary of Cavity Temperature Results

=====

Cavity surface temperature - maximum	= 113.0730 C
Cavity surface temperature - minimum	= 26.3220 C
Cavity surface temperature - average	= 46.9320 C
Average mold exterior temperature	= 26.3980 C
Cycle time	= 25.0000 s



Şekil 7-26 Soğutma Kanalları Verimi, Dişi Kalıp



Şekil 7-27 Soğutma Kanalları Verimi, Erkek Kalıp

7.2.5 Çarpılma Analizi

Summary at velocity/pressure switch-over

Injection pressure at velocity/pressure switch-over = 72.3063 MPa

Volume filled at velocity/pressure switch-over = 100.0000 %

End of filling phase results summary :

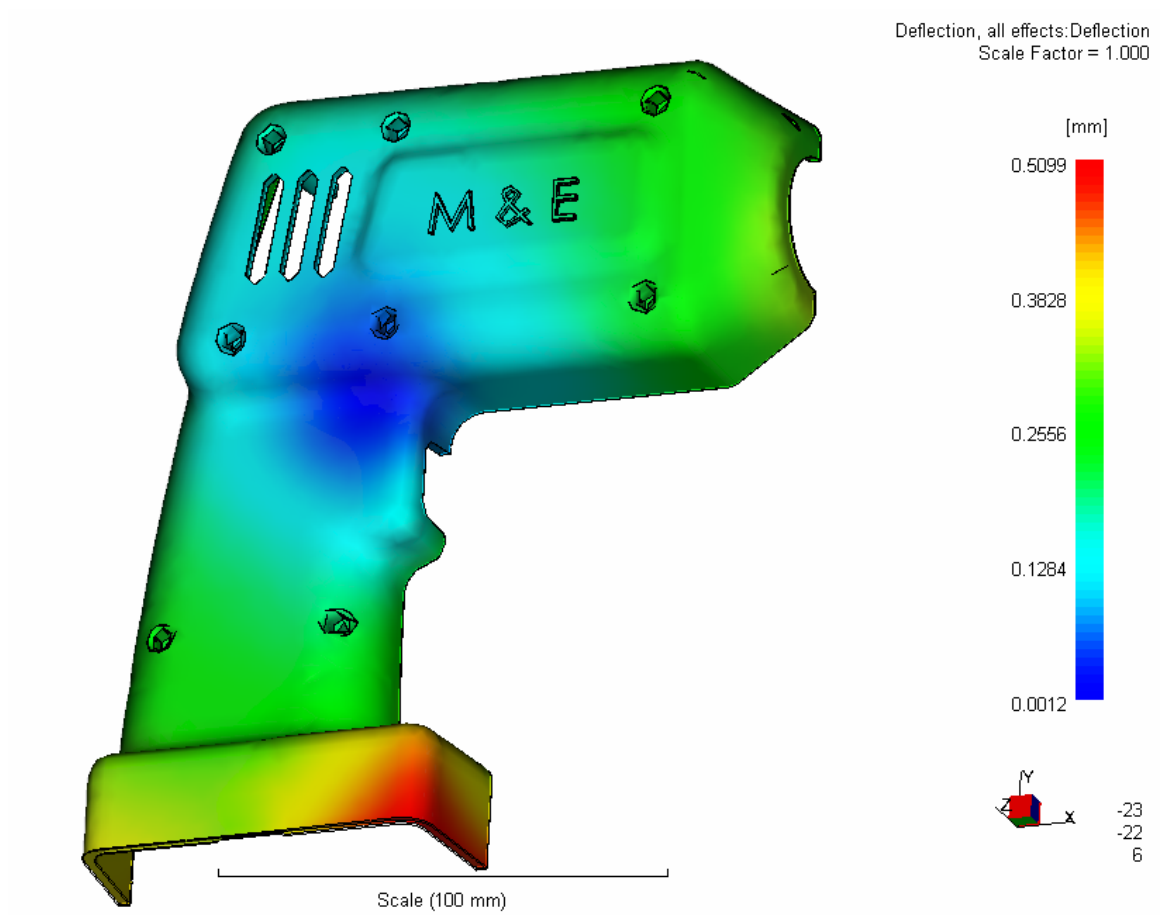
Total mass	=	86.4109 g
Frozen volume	=	12.0762 %
Injection pressure	=	50.0000 MPa
Current time from start of cycle	=	2.1052 s

Volumetric shrinkage - maximum	=	5.6003 %
Volumetric shrinkage - minimum	=	-0.5256 %

End of packing phase results summary :

Total mass	=	87.8836 g
Frozen volume	=	99.9848 %
Injection pressure	=	0.0000 MPa
Current time from start of cycle	=	27.1052 s

Volumetric shrinkage - maximum	=	5.8163 %
Volumetric shrinkage - minimum	=	-0.5256 %
Maximum velocity	=	0.0000 cm/s
Maximum shear rate	=	0.0000 1/s

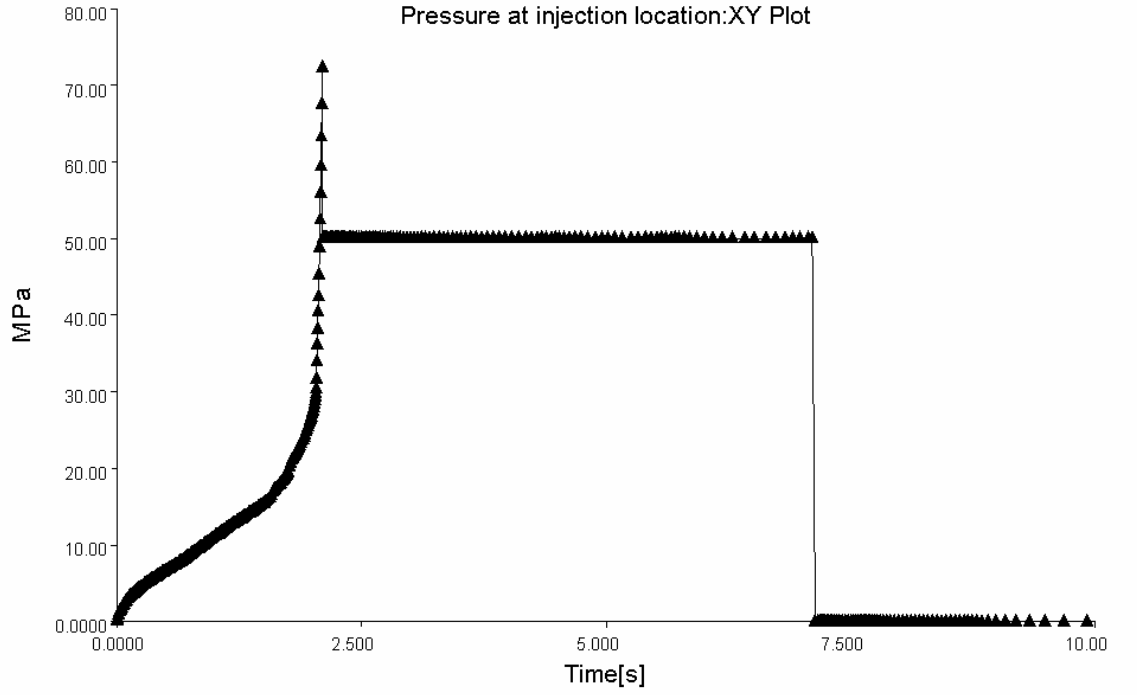


Şekil 7-28 Çarpılma Analizi, Şekil Değişimi Dağılımı

Minimum/maximum displacements at last step (unit: mm):

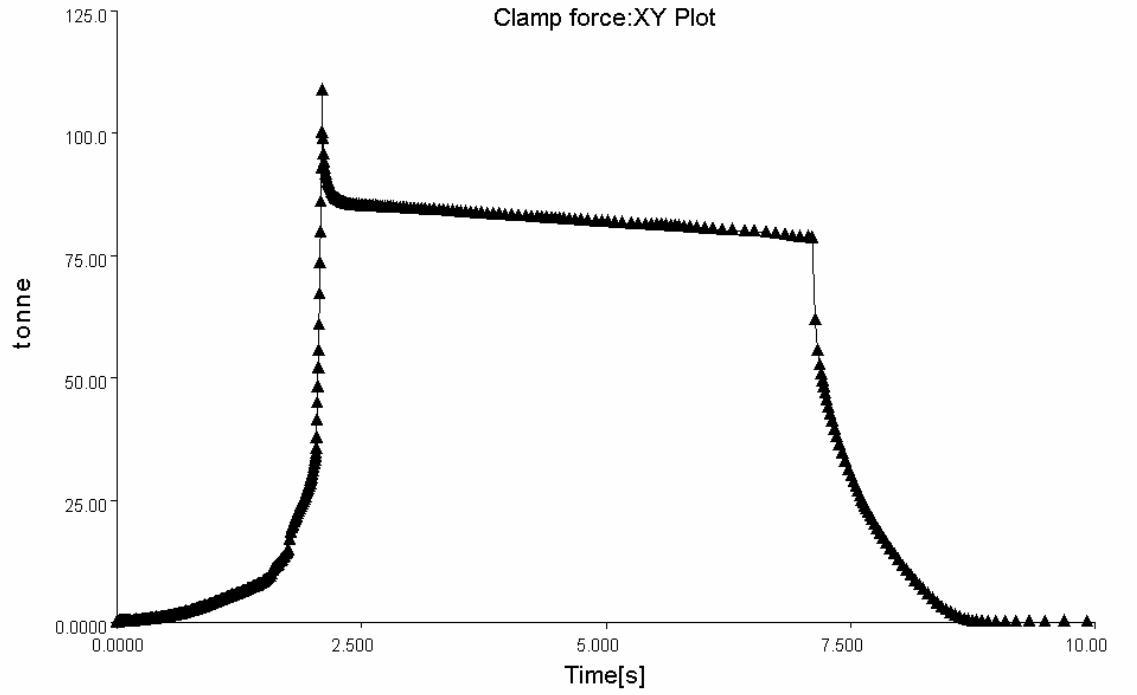
	Node	Min.	Node	Max.
Trans-X	344770	-2.1116e-01	54083	5.0557e-01
Trans-Y	330698	-1.2520e-01	52805	7.2151e-01
Trans-Z	54544	-3.0755e-01	49325	2.4367e-01

7.2.6 Enjeksiyon Basıncı Dağılımı



Şekil 7-29 Enjeksiyon Basıncının Zamana Bağlı Değişimi

7.2.7 Kapama Kuvveti Dağılımı



Şekil 7-30 Kapama Kuvvetinin Zamana Bağlı Değişimi

7.2.8 Yorumlar

Sonuçlar olumlu yöndedir.

Soğuma analizinde, sonuçlar yeterlidir fakat soğutma borularından alınan verim azdır. Tasarım “6.7 Soğutma Sistemi Tasarımı” bölümündeki bilgiler ve tavsiyeler ile yapılmıştır. Sonuçların yeterli olması ve şebeke suyunun kullanılabilmesinin getirdiği mali avantajlar, soğutma kanalı tasarımını kabul edilebilir kılmıştır.

Öte yandan kanalların enine değil de boyuna açılması da düşünülmüş, fakat en zor soğuyan ön görünüşte sağ üst (özellikle delikli uzun kısımlar) kısımların kötü etkilenecek olması bu durumdan vazgeçirmiştir.

Akış şekli, yönelimi ve hızı uygundur. Üretim şartlarına bağlı olarak işlem zamanı kısaltılmak istenebilir. 30 saniyeyi bulan toplam işlem zamanı sıcak yolluk veya bu durumda uygulanan direk nokta giriş kullanımını gerekli kılmaktadır [33].

Önden görünüşte sağ alt kısmın çarpıldığı gözlenmiştir. Binde dört (0.4%) kadar düşük çarpılmalar önemsiz görülmüştür. Bu durumun ürün toleransları içerisinde kalıp kalmadığı kontrol edilmeli, olumsuz bir durumda enjeksiyon basıncı arttırılarak yeniden denenmelidir. Enjeksiyon basıncını arttırmak için daha büyük hacimli bir makinaya ihtiyaç duyulabilir. Bu durumda aynı kalıba ürünün, muhtemelen çarpılmanın kompanse edileceği diğer yarısını eklemek de bir çözümdür.

33 A. T. Güneş, 2005, *Plastik Enjeksiyon Kalıpları*, Ankara TMMOB Makina Mühendisleri Odası: Özkan Matb. Ltd.Şti.

8 Maliyet Analizi

Maliyete etki eden birimler :

- Tasarımın zorluğu
- Ayrılan vakit ve personel
- Kullanılan hazır parçalar
- İşleme maliyetleri
- Şirket sabit giderleri

Tablo 8-1 Hazır Parça Fiyat Bilgileri [34]

Ürün NO	Adet	Birim Fiyat €	Toplam Fiyat €
Z 10 / 46/42	4	27,95	111,80
Z 00 / 56/ 42x75	4	31,69	126,76
Z30 / 16x30	12	0,46	5,52
Z33 / 4x8	20	0,19	3,80
Z 33 / 8x25	20	0,17	3,40
Z 55 / 28x3	4	2,34	9,36
Z 60 / 11x90	1	0,56	0,56
Z 71 / 8	4	1,00	4,00
Z35 / 6x12	20	0,08	1,60
Z42 / 2,5x160	9	2,33	20,97
Z 3310 / 32x71	1	707,56	707,56
Z 3308 / 32x27	1	113,67	113,67
Z 3309 / 32x15	1	14,23	14,23
Z 942 / 10	43	1,70	73,10
Z 88 /13/14x1,5	4	0,77	3,08
Z 02 / 10x100	2	8,42	16,84
Z 02 / 10x120	1	8,83	8,83
K 10/346x396x27/1.1730	2	195,89	391,78
K 20/346x396x56/1.2311	1	375,94	375,94
K 20/346x396x76/1.2311	1	475,20	475,20
K 10/346x396x52/1.1730	1	265,06	265,06
K 40/346x396x86/1.1730	2	115,63	231,26
K 60/346x396x13/1.1730	1	91,03	91,03
K 60/346x396x17/1.1730	1	91,03	91,03
TOPLAM			3146,38

34 Birim fiyatlar www.hascoshop.com aracılığı ile, 27.12.2005 tarihi ile hesaplanmıştır.

Tablo 8-1’de projede kullanılan hazır parçaların birim ve toplam maliyetleri yer almaktadır. Maliyete etki eden diğ er birimler (tasarımın zorluğu, ayrırlan vakit ve personel, işleme maliyetleri, şirket sabit giderleri) reel olarak hesaplanamamaktadır.

Danışılan kişi ve kurumlar sonucunda, böyle bir projenin toplam maliyetinin

28 000 €

olacağı tahmin edilmektedir.

9 Sonuçlar

Bitirme tasarım projesinde, üretime hazır bir el matkabı gövdesinin yarısının ABS malzemesinden enjeksiyon yöntemi ile üretilmek için gerekli kalıp tasarımı yapılmıştır. Tasarım süresince ampirik yöntemlerle elde edilen tecrübeler, hesaplamalara ve CFD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği), FEM (Sonlu Elemanlar Yöntemi) ile uygulanan analizlere başvurulmuştur. Analizlerde MOLDFLOW çizimlerde CATIA V5 programları kullanılmıştır. Kalıp teknik resimleri Ekler bölümünde sunulmuştur.

Tasarımda hazır seçilen parçaların seçim kriterleri anlatılmıştır. Detaylı bilgiler ve tavsiyelerin dayandığı noktalara gerek değinilmiş gerekse dipnotlarda kaynaklara yönlendirilmiştir. Hazır parçalar HASCO firmasından seçilmiştir. Tüm hazır parçaların detaylı teknik resimleri ve bilgileri Ekler bölümünde ilgili kataloglardan alınarak gösterilmiş, dijital katalogun tümüne erişim dipnotlarda verilmiştir.

Catia ortamında yapılan çizimlerde, çizim için yöntemler anlatılmıştır. Aynı sonucu elde edebilecek birden fazla yöntem bulunmaktadır. Yöntemler mümkün olduğunca Core & Cavity ve Mold Tooling Design arayüzünde uygulanmıştır, böylece modüller halinde satın alınan programın, sadece kalıp tasarımı için kurulum maliyeti minimumda tutulmuştur.

Plastik enjeksiyon kalıbı tasarımı, ülkemizde de yapılan bir süreçtir. Plastik malzemelerin mekanik, ısı ve elektriksel özelliklerindeki avantajlar, üretim alanlarının artmasına ve dar toleranslarda da üretilmesini öngörmüştür. Bu durum üretim öncesi yapılan analizlerin önemini arttırmış ve araştırmaları çoğaltmıştır. Projede kullanılan bu bilgiler mümkün olduğunca güncel kaynaklardan alınmıştır. Analizlerde Moldflow Plastics Insight programı kullanılmıştır. Moldflow programının başka tipleri de mevcuttur. CFD ve FEM analizlerinde ağ (mesh) yapısının düzgünlüğü çok önemlidir. Mesh yapısının değiştirilmesine olanak sağlayan Plastics Insight tipi seçilmiş ve buna dair bilgiler aktarılmıştır, kullanılan terimler de Ek C bölümünde açıklanmıştır. Analizlerde hesaplamalar, iterasyonlar yapılarak uygulanmaktadır ve iterasyonların belirli bir değere yakınsaması beklenmektedir. Bu durum analizlerin kendi içerisinde tutarlılığını sınamaktadır ve Ek D bölümündeki analiz raporlarında görüldüğü üzere sonuçlar 0.1% mertebesinde

doğrulanmaktadır. Hesaplama zamanlarını kısa tutmak için iterasyon sayıları bu değer yeterli görülerek düşük tutulmuştur.

Basit anlamda bir maliyet analizi ile projenin yapılabilirliği gösterilmiştir. Maliyete en büyük etkinin, hazır parçalardan ziyade, işleme ve personel olduğu görülmüştür.

Kalıp tasarımını birçok parametre etkilemektedir ve konstrüktörün görevi bu parametrelerden optimum bir sonuç çıkarabilmektir. Sonuca giden yolda hesaplamalı analizlerin yardımı büyüktür ve doğru uygulandığı takdirde maliyete olumlu etkisi en yüksektir.

10 Kaynaklar

A) Kitaplar:

H. Rees, 1995. Mold Engineering, Carl Hanser Verlag, Donauwörth.

I. I. Rubin, 1972, Injection Molding Theory and Practice, John Wiley & Sons, USA

DuBois & Pribble, 1995 5th edition. Plastics Mold Engineering Handbook, Chapman & Hall, USA.

H. Martin, 1984. in VDI-Wärmeatlas, VDI Verlag, Düsseldorf.

N. S. Rao, 1991. Design Formulas for Plastics Engineers. Hanser Verlag, München.

A. T. Güneş, 2005. Plastik Enjeksiyon Kalıpları, TMMOB,Özkan Matb.Ltd.Şti., Ankara.

E. Lindner, 1974. Berechenbarkeit von Spritzgießwerkzeugen, VDI-Verlag, Düsseldorf.

N. Rao, K.O'Brien, 1998. Design data for plastics engineers, Carl Hanser Verlag, Bad Langensalza, Deutschland,

B) Tezler

Ö.Purde, D.Özden, 2005. Plastik Enjeksiyon Kalıbı, Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Bölümü Lisans Bitirme Tezi [elektronik versiyon]

C) Süreli Dergilerdeki Makaleler

ArGe Mühendislik, Catia V5 ile Kalıp Tasarımı, Cad-Cam-Dizayn Dergisi, yıl 1 sayı 3, sf. 80-81

D) Konferans/Sempozyum Bildirileri:

A. Hatman, 1999. Plastik Kalıp Takım Çeliklerinin Seçimi, Plastik Malzemeler ve Teknolojileri Konferans Bildiriler Kitabı 4-5 Aralık 1999, mmo yayın no:241, Hat Grafik Basım ve Reklam Hiz.San.Tic.Ltd.Şti, İstanbul, sf.81-85

S. Yamakawa, C. Shaw, K. Shimada, 2005, Layered Tetrahedral Meshing of Thin-Walled Solids for Plastic Injection Molding FEM [elektronik versiyon], ACM Symposium on Solid Modeling and Applications, sf. 245-255, Cambridge, Massachusetts

E) Raporlar

M. P. Groove, 2002. Fundamentals of Modern Manufacturing 2/e, John Wiley & Sons Inc.

V. Temiz, Plastik Malzemelerle Konstrüksiyon, Ders Notları, Istanbul Teknik Üniversitesi

Moldflow Plastics Insight v5 Help Documents

Dipl.-Ing. O. Zöllner, Process Variables as Production Cost Factors in the Injection Moulding of Thermoplastics: Melt, Mould and Demoulding Temperature, Cycle Time, p-v-J-Diagrams, Bayer AG, elektronik versiyon, [http://plastics.bayer.com/plastics/emea/en/literature/pdf/2055.pdf?docId=2055]

F) Resmi Internet Sayfaları:

MatWeb, <http://www.matweb.com/>

Hasco Hasenclever GmbH & Co. Kg, <http://www.hasco.com/www/main.html>

11 Ekler

Bölümde :

Tezde anlatılan tasarımın son halini gösteren teknik resimler [Ek A] ;

Kullanılan hazır parçaların katalog bilgileri ve boyutları[Ek B] ;

Yapılan mesh düzeltmeleri için teknik bilgiler[Ek C] ;

Analiz sonuçlarının tam raporları [Ek D] ;
yer almaktadır.

11.1 Ek A : Teknik Resimler

Sırası ile;

0001 – Montaj Resmi

0002 – Ürün Görünümü

0003 – Üst Sabitleme Plakası

0004 – Dişi Kalıp Plakası

0005 – Erkek Kalıp Plakası

0006 – Erkek Kalıp Destek Plakası

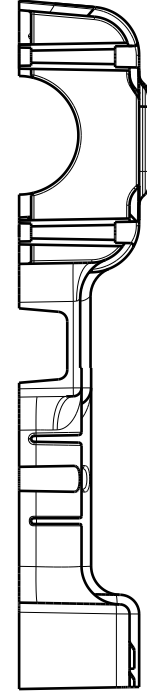
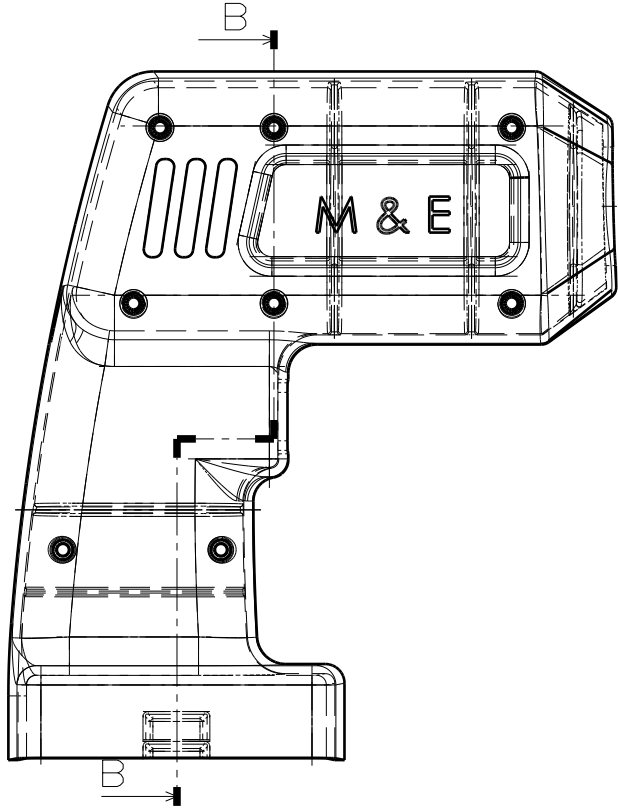
0007 – Aralık Plakası

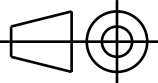
0008 – İtici Plakası A

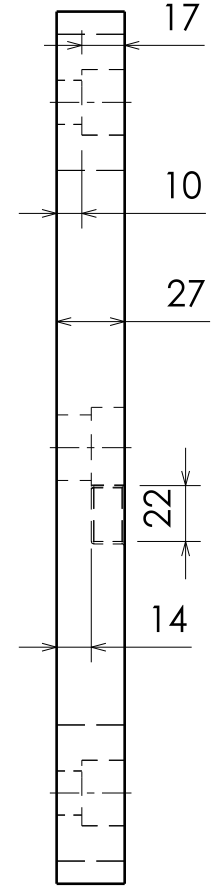
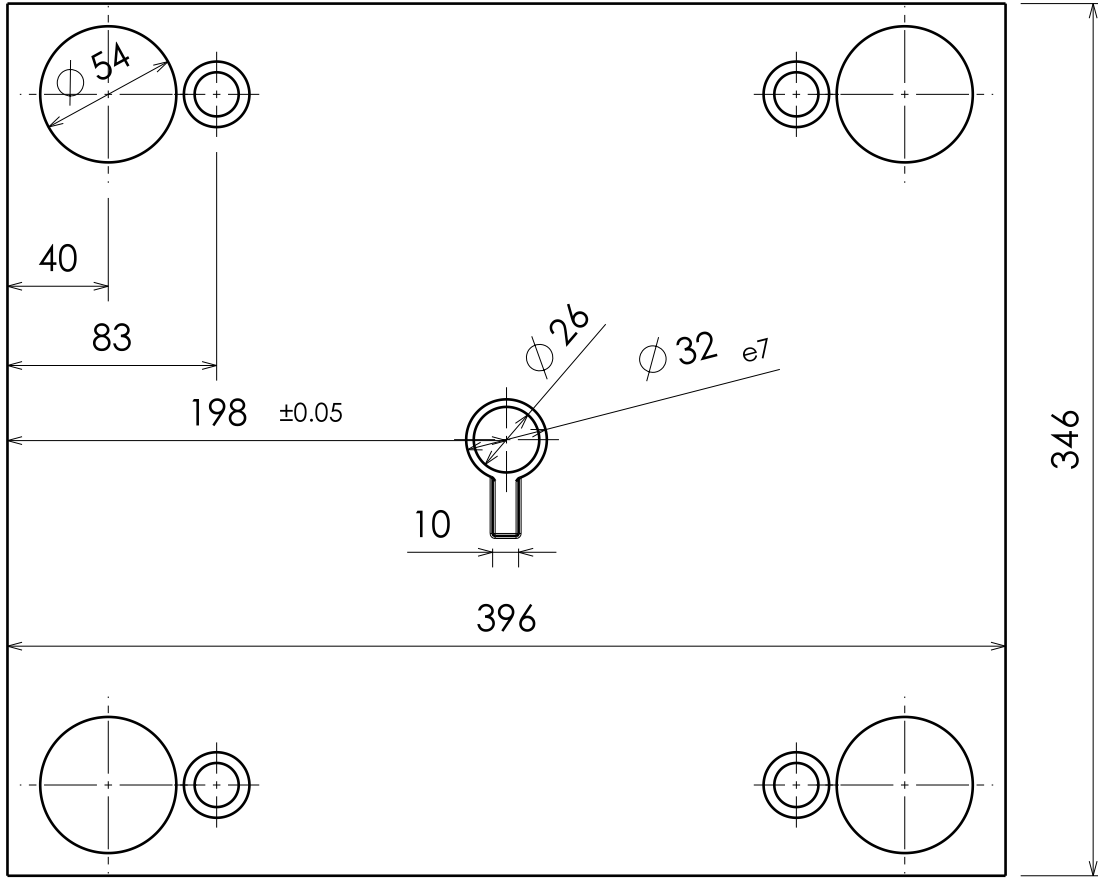
0009 – İtici Plakası B

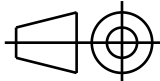
0010 – Alt Sabitleme Plakası

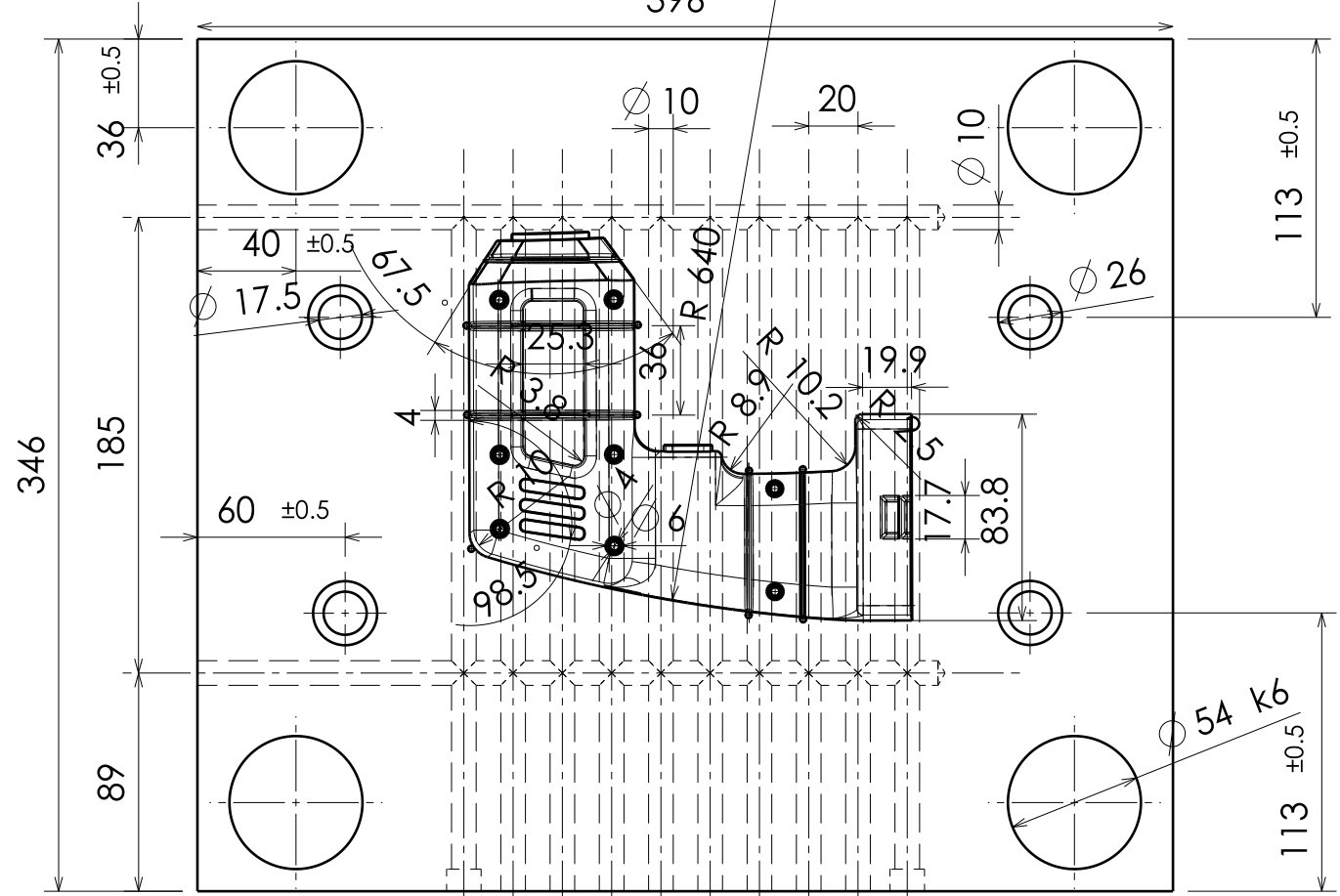
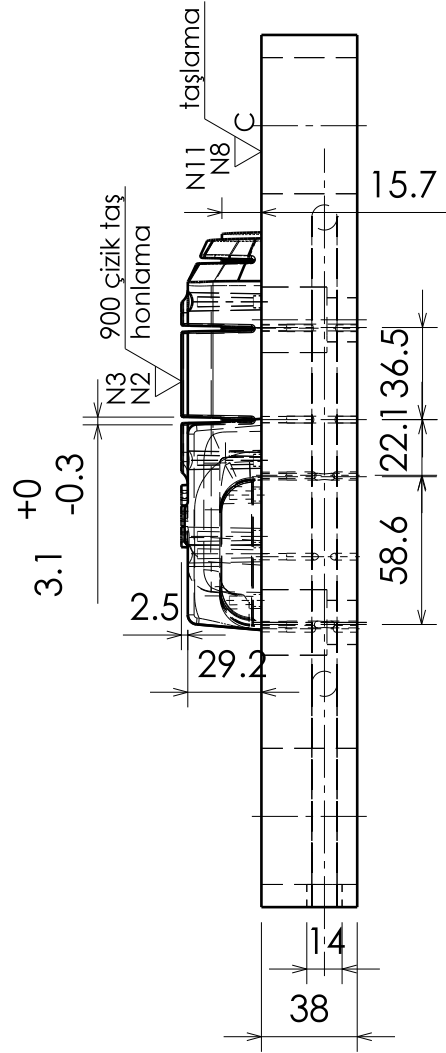
devam eden sayfalar boyunca bulunmaktadır.



Tarih		Lisans Bitirme Tezi Plastik Enjeksiyon Kalıbı Tasarımı			
ITU Makina 2005-2006 Güz Yarıyılı					
Danışman					
Yar. Doç. Dr. Vedat Temiz					
		Konstrüksiyon	Melih KOÇAK Bilen Emek ABALI	030010003 030010036	
Ölçek	Boyut	Resim NO	SHEET		
1:2	A4	0002 - Parça Resmi	2/10		



Tarih ITU Makina 2005-2006 Güz Yarıyılı		Lisans Bitirme Tezi Plastik Enjeksiyon Kalıbı Tasarımı			
Danışman Yar. Doç. Dr. Vedat Temiz					
		Konstrüksiyon	Melih KOÇAK Bilen Emek ABALI	030010003 030010036	
Ölçek 1:3	Boyut A4	Resim NO 0003 - Üst Sabitleme Plakası	SHEET 3/10		



Tarih	ITU Makina 2005-2006 Güz Yarıyılı
Danışman	Yar. Doç. Dr. Vedat Temiz
Ölçek	1:3
Boyut	A4

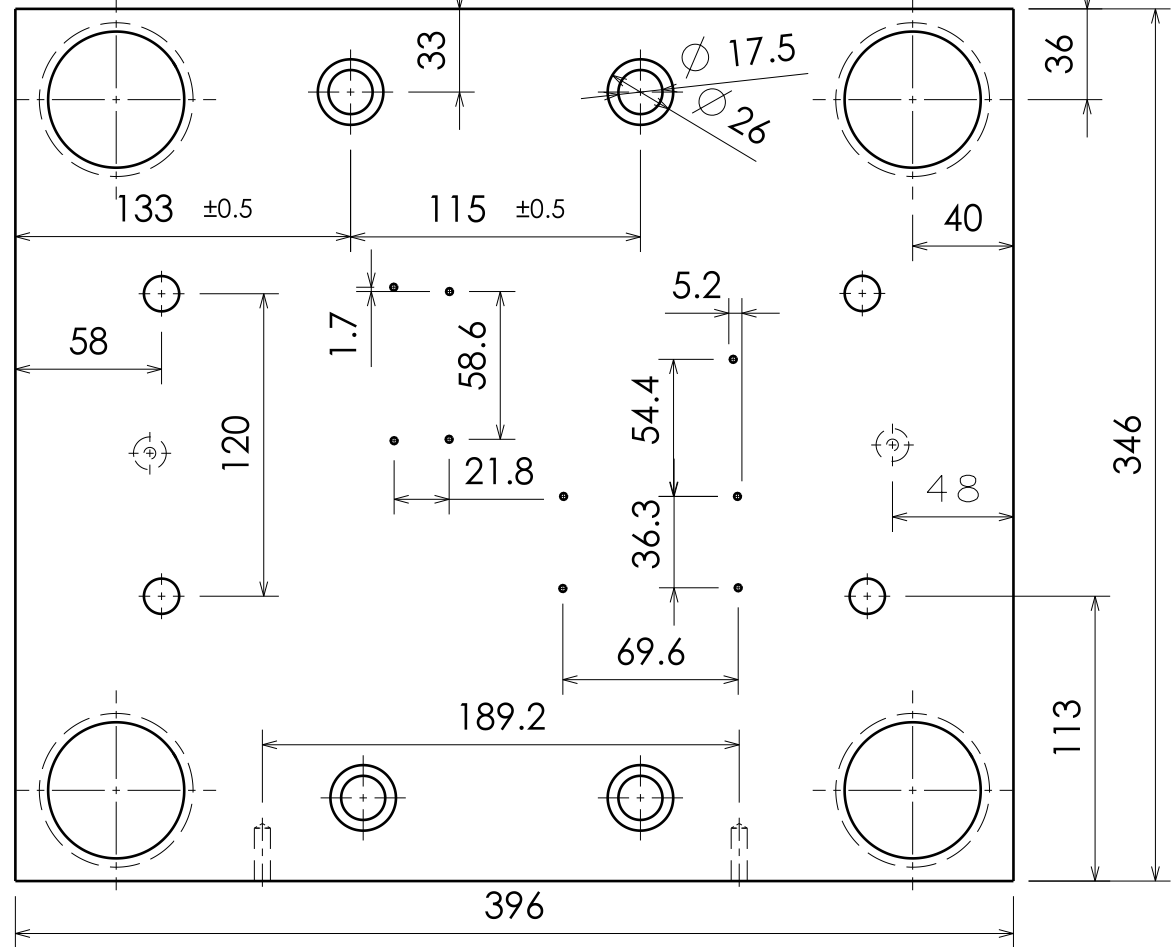
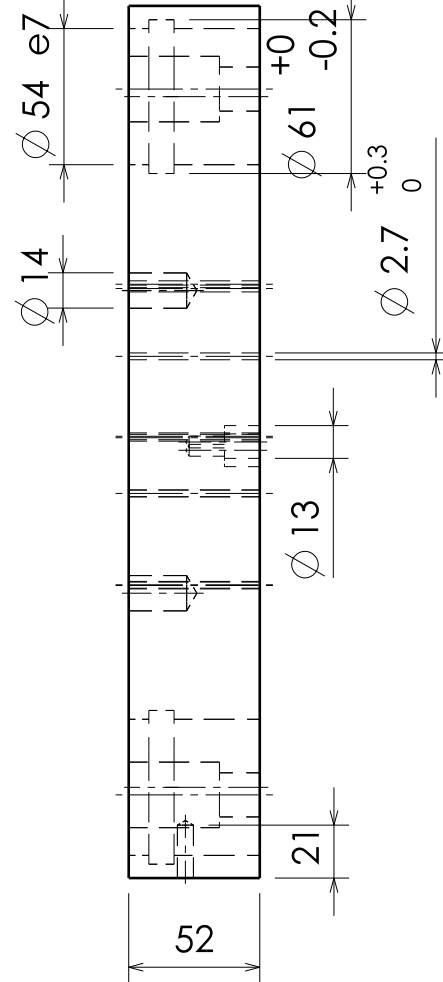
Lisans Bitirme Tezi Plastik Enjeksiyon Kalıbı Tasarımı			
Konstrüksiyon	Melih KOÇAK	030010003	
	Bilen Emek ABALI	030010036	
Resim NO	0005 - Erkek Kalıp Plakası		SHEET 5/10

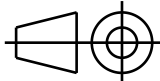
D

C

B

A



Tarih		ITU Makina 2005-2006 Güz Yarıyılı		Lisans Bitirme Tezi Plastik Enjeksiyon Kalıbı Tasarımı	
Danışman		Yar. Doç. Dr. Vedat Temiz			
		Konstrüksiyon	Melih KOÇAK Bilen Emek ABALI	030010003 030010036	
Ölçek	Boyut	Resim NO	SHEET		
1:3	A4	0006 - Erkek Destek Plakası	6/10		

D

A

D

C

B

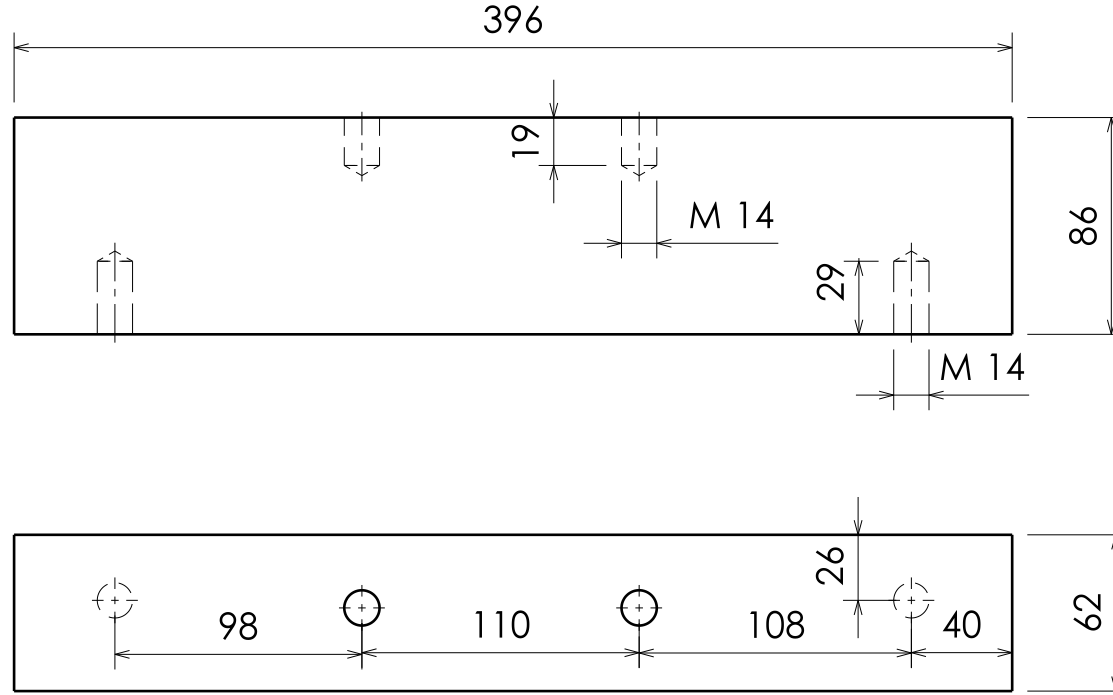
A

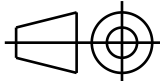
4

3

2

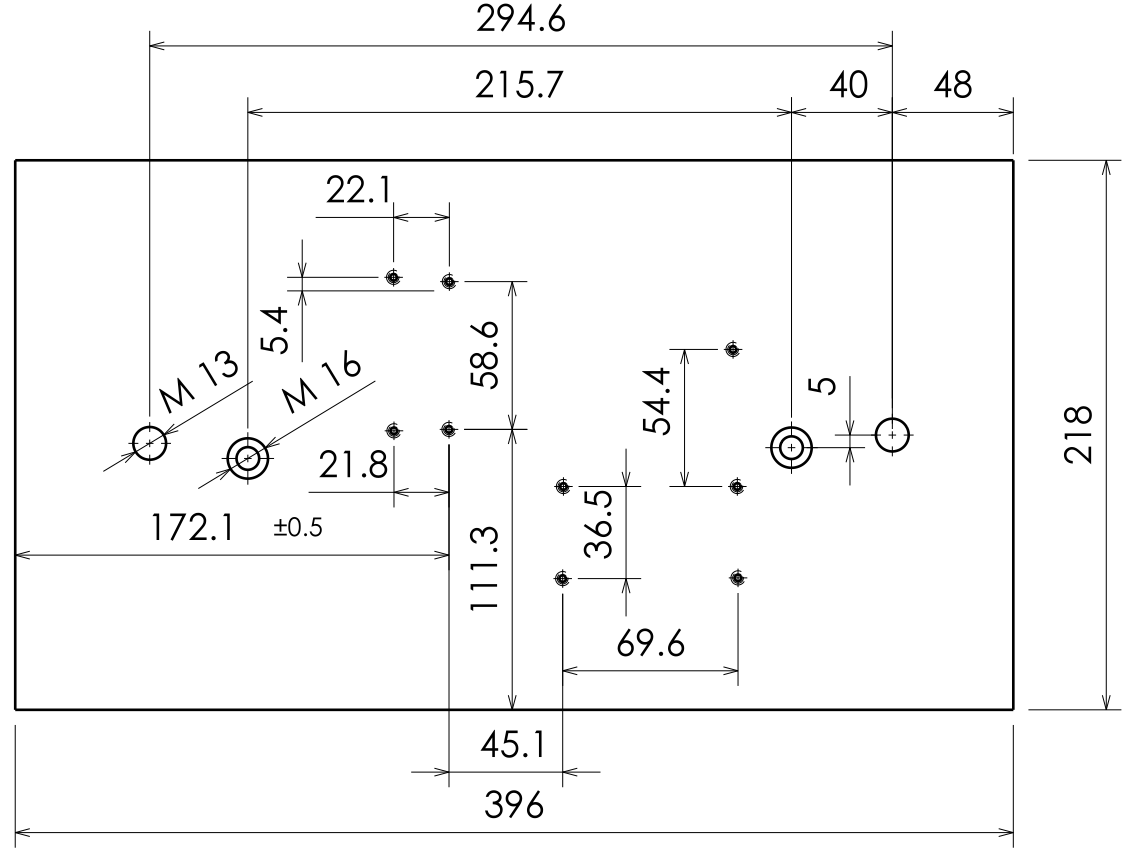
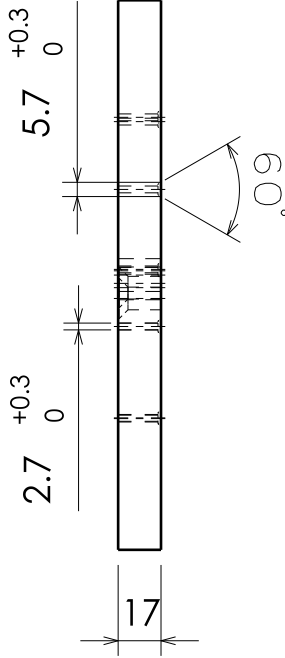
1

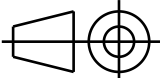


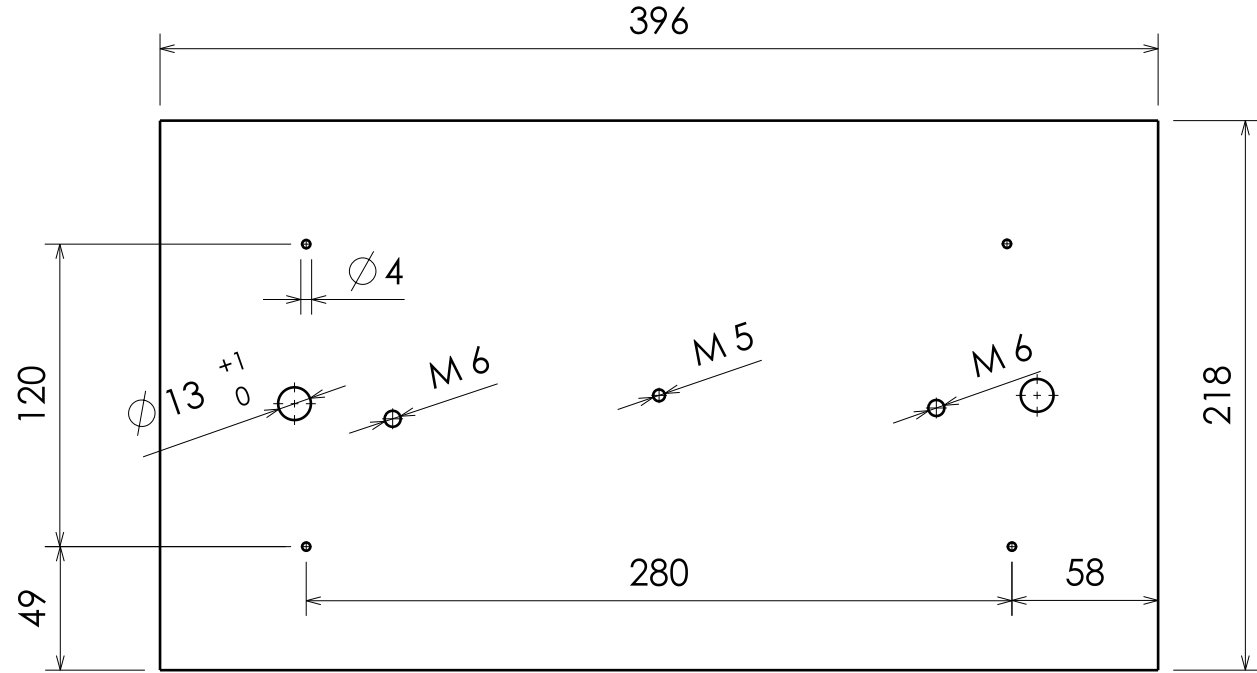
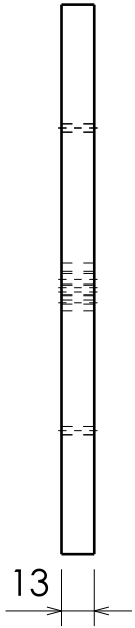
Tarih ITU Makina 2005-2006 Güz Yarıyılı		Lisans Bitirme Tezi Plastik Enjeksiyon Kalıbı Tasarımı			
Danışman Yar. Doç. Dr. Vedat Temiz					
		Konstrüksiyon	Melih KOÇAK Bilen Emek ABALI	030010003 030010036	
Ölçek 1:3	Boyut A4	Resim NO 0007 - Aralık Plakası	SHEET 7/10		

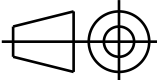
D

A



Tarih ITU Makina 2005-2006 Güz Yarıyılı		Lisans Bitirme Tezi Plastik Enjeksiyon Kalıbı Tasarımı			
Danışman Yar. Doç. Dr. Vedat Temiz					
		Konstrüksiyon	Melih KOÇAK Bilen Emek ABALI	030010003 030010036	
Ölçek 1:3	Boyut A4	Resim NO 0008 - İtici Plakası A	SHEET 8/10		



Tarih ITU Makina 2005-2006 Güz Yarıyılı	Lisans Bitirme Tezi Plastik Enjeksiyon Kalıbı Tasarımı		
Danışman Yar. Doç. Dr. Vedat Temiz		Konstrüksiyon Melih KOÇAK Bilen Emek ABALI	030010003 030010036
Ölçek 1:3	Boyut A4	Resim NO 0009- İtici Plakası B	SHEET 9/10

D

C

B

A

274

 $\varnothing 26$

27

396

36

M18

150

295

48

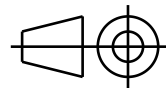
40

40

346

Tarih ITU Makina
2005-2006
Güz Yarıyılı

Danışman
Yar. Doç. Dr.
Vedat Temiz



Ölçek

1:3

Boyut

A4

Konstrüksiyon

Resim NO

0010 - Alt Sabitleme Plakası

Lisans Bitirme Tezi

Plastik Enjeksiyon Kalıbı Tasarımı

Melih KOÇAK 030010003
Bilen Emek ABALI 030010036

SHEET

10/10

D

A

11.2 Ek B : Katalog Bilgileri

Bu kısımda yer alan tüm bilgiler Hasco Hasenclever GmbH & Co. Kg. şirketinin resmi internet sayfasındaki elektronik kataloglardan edinilmiş [35] ve [36]. Çizimde de hazır parça olarak kullanılmıştır, detay resimlerine gerek duyulmamıştır, katalogdaki logo :

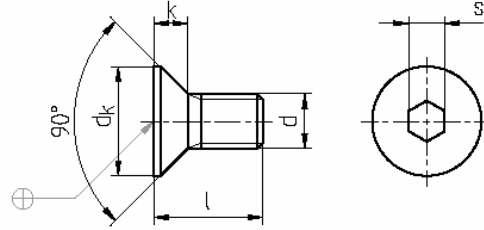
HASCO

; şekillerden çıkarılmıştır.

11.2.1 Civatalar

Z 33/...

Mat.: 8.8/800 N/mm²
DIN 7991



s	dk	k	d	l	Nr./No.
2,5	8	2,3	M 4	8	Z 33/4 x 8
				10	10
				12	12
				16	16
				20	20
3	10	2,8	M 5	8	Z 33/5 x 8
				10	10
				12	12
				14	14
				16	16
4	12	3,3	M 6	12	Z 33/6 x 12
				16	16

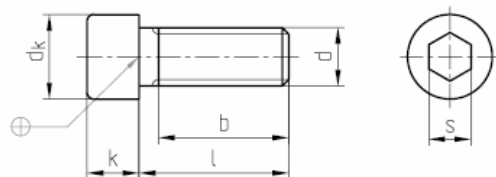
s	dk	k	d	l	Nr./No.
4	12	3,3	M 6	20	Z 33/ 6 x 20
				25	25
				30	30
5	16	4,4	M 8	12	Z 33/ 8 x 12
				16	16
				20	20
				30	30
6	20	5,5	M 10	20	Z 33/10 x 20
8	24	6,5	M 12	20	Z 33/12 x 20
				30	30

35 Hasco Hasenclever GmbH & Co. Kg., Z3310/...ff Heißkanaldüse "Techni Shot", Katalog, elektronik versiyon, [[http://www.hasco.com/druckobjekte.nsf/wneu-de/d64bc72c80091fd9c1256d5800499ac3/\\$FILE/Z3310%20DGBF.pdf](http://www.hasco.com/druckobjekte.nsf/wneu-de/d64bc72c80091fd9c1256d5800499ac3/$FILE/Z3310%20DGBF.pdf)]

36 Hasco Hasenclever GmbH & Co. Kg., Z3310/...ff Heißkanaldüse "Techni Shot", Katalog, elektronik versiyon, [[http://www.hasco.com/druckobjekte.nsf/wneu-de/8f5aa418a22a8e0e412568950025096d/\\$FILE/Z-Katalog%202000%20-D-.pdf](http://www.hasco.com/druckobjekte.nsf/wneu-de/8f5aa418a22a8e0e412568950025096d/$FILE/Z-Katalog%202000%20-D-.pdf)]

Z 30/...

Mat.: 8.8/800 N/mm²
DIN 912



s	dk	k	b	d	l	Nr./No.	s	dk	k	b	d	l	Nr./No.
3	7	4	7,9	M4	10	Z 30/4 x 10	8	16	10	11,5	M10	16	Z 30/10 x 16
			9,9		12	12				15,5		20	20
			13,9		16	16				20,5		25	25
			17,9		20	20				25,5		30	30
			22,9		25	25				30,5		35	35
4	8,5	5	5,6	M5	8	Z 30/5 x 8	10	18	12	35,5	M12	40	40
			7,6		10	10				32		45	45
			9,6		12	12						50	50
			13,6		16	16						60	60
			17,6		20	20						70	70
			22,6		25	25						80	80
			22		30	30						90	90
					35	35						100	100
5	10	6	7	M6	10	Z 30/6 x 10	14	24	16	24	M16	30	Z 30/16 x 30
			9		12	12				29		35	35
			13		16	16				34		40	40
			15		18	18				39		45	45
			17		20	20				44		50	50
			22		25	25				54		60	60
			27		30	30				44		70	70
			24		35	35						80	80
					40	40						90	90
					45	45						100	100
					50	50						110	110
6	13	8	12,3	M8	16	Z 30/8 x 16	14	24	16	24	M16	30	Z 30/16 x 30
			14,3		18	18				29		35	35
			16,3		20	20				34		40	40
			21,3		25	25				39		45	45
			26,3		30	30				44		50	50
			31,3		35	35				54		60	60
			28		40	40				44		70	70
					45	45						80	80
					50	50						90	90
					55	55						100	100
					60	60						110	110
					65	65						120	120
					70	70						130	130
					75	75						140	140
					80	80						150	150
					90	90						160	160
					100	100							

11.2.2 Sıcak Meme Girişi Seçimi

Schussgewichte- und
Formmassen-Empfehlung

Recommendation of shot weights
and moulding compounds

Charges d'injection et matières
à mouler recommandées

Bestell-Nr. Order No. Référence																	
		16041 / 16041		16041 / 16041		16041 / 16041		16041 / 16041		16041 / 16041		16041 / 16041		16041 / 16041		16041 / 16041	
Schussgewichte [g] Shot weights [g] Charges d'injection [g]		23337		23337		23337		23337		23337		23337		23337		23337	
2																	
5																	
8																	
10																	
20																	
30																	
50																	
80																	
100																	
150																	
200																	
400																	
600																	
800																	
1200																	
1500																	
Formmassen Moulding compounds Matières à mouler																	
leicht fließend à écoulement facile mittel fließend à écoulement moyen	PE																
	PP																
	PS																
	ABS																
	ABS/PC																
	PMMA																
schwer fließend à écoulement difficile	PA																
	SAN																
	CA																
	ASA																
	EVAG																
	TPE																
	PC																
	PC*																
	POM																
	POM*																
	PPE																
	PPE*																
	PPS																
	PPS*																
Verarbeitungstemperatur Processing temperature Température de transformation	PSU																
	PSU*																
	PET																
	PET*																
	PBT																
	PBT*																
	PP*																
	PA*																
	SAN*																
		max. 400 °C															

- mit Z 107/...
nur in Verbindung mit
Heißkanal,
leicht verarbeitbar
with Z 107/...
only in connection with
hot-runner,
easy processable
avec Z 107/...
seulement en relation
avec le canal chaud,
transformation aisée
- * - verstärkte
Formmassen
reinforced moulding
compounds
matières à mouler
renforcées
- leicht verarbeitbar
easy processable
transformation aisée
- mit Einschränkung
verarbeitbar
(Rücksprache mit der
Anwendungstechnik
wird empfohlen)
processable within limits
(Please contact our
application engineers)
transformation limitée
(Contact avec le service
technique conseillé)

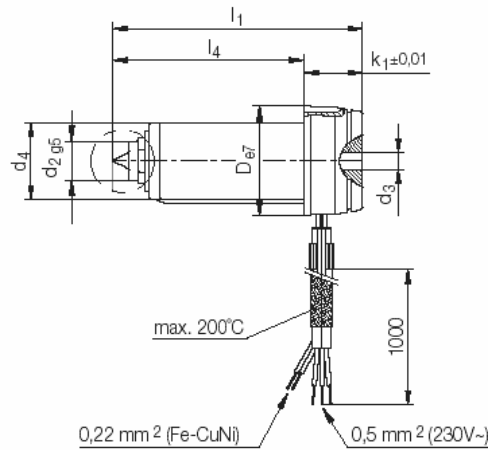
11.2.3 İçten Isıtmalı Sıcak Meme Girişi

Z3310/...



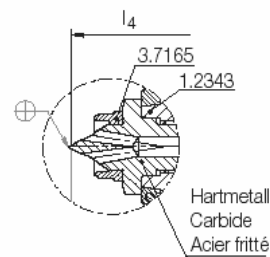
Heißkanaldüse „Techni Shot“ mit Standard-Spitze
Hotrunner nozzle "Techni Shot" with standard tip
Buse à canal chaud «Techni Shot» avec pointe standard

230 V~
+ = Fe-CuNi
- =



Z3310/16/...
20/...
25/...

Z3310/32/...
40/...
50/...



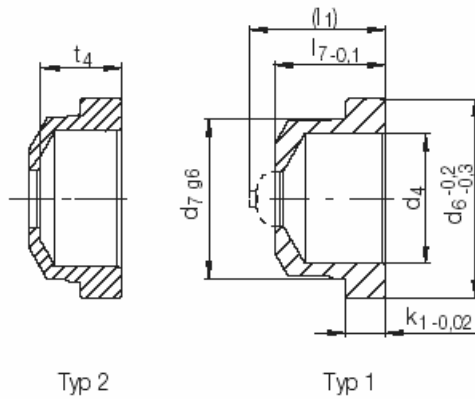
max. °C	Watt	d ₂	d ₃	d ₄	k ₁	l ₄	D	l ₁	Nr./No.	EDV-Nr.
400	200	6,5	3	12	13	37	16	50	Z3310/16 x 50	579645
	250					50		63	63	579653
	315					67		80	80	579661
	250	7	3	14	13	37	20	50	Z3310/20 x 50	579670
						50		63	63	579688
	315					67		80	80	579696
	250	10	3,5	18	18	38	25	56	Z3310/25 x 56	579700
	315					45		63	63	579718
						53		71	71	579726
						62		80	80	579734
	400					82		100	100	579742
	315	11	4,5	22	21	42	32	63	Z3310/32 x 63	579750
						50		71	71	579769
						59		80	80	579777
						69		90	90	579785
	400					79		100	100	579793
		14	6	28	21	59	40	80	Z3310/40 x 80	579807
						69		90	90	579815
						79		100	100	579823
	500					91		112	112	579831
						104		125	125	579840
	630	18	8	35	27	119	50	140	140	579858
						73		100	Z3310/50 x 100	579866
						85		112	112	579874
						98		125	125	579882
						113		140	140	579890
		800				133		160	160	579904
						173		200	200	579912
						223		250	250	2000140

11.2.4 Meme Burcu ve Uzatması

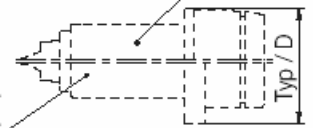
Z 3308 / ...

Vorkammereinsatz, G-Ausführung
Melt chamber insert, G-design
Élément préchambre, modèle G

Mat.: 1.2344 / 50 HRC ± 1



Z3410/...
Z3440/...
Z34201/...
Z34203/...

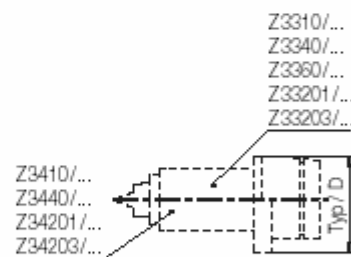
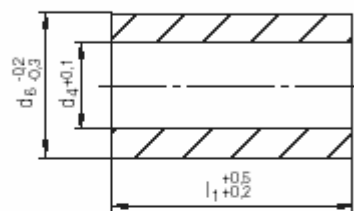


Typ	t ₄	l ₇	k ₁	d ₇	d ₆	d ₄	D	l ₁	Nr./No.	EDV-Nr.
1	-	13,8	8	18	25	13,7	16	17	Z 3308 / 16 x 17	2000118
		18,7		20	27	16	20		20 x 22	2000119
		17,8		26	34	21,5	25		25 x 22	2000120
		22,3		32	40	26	32		32 x 27	2000121
2	19,5	22,3	10	40	48	32,5	40	27	40 x 27	2000122
	25,8	29,3		50	58	40	50		50 x 36	2000123

Z 3309/ ...

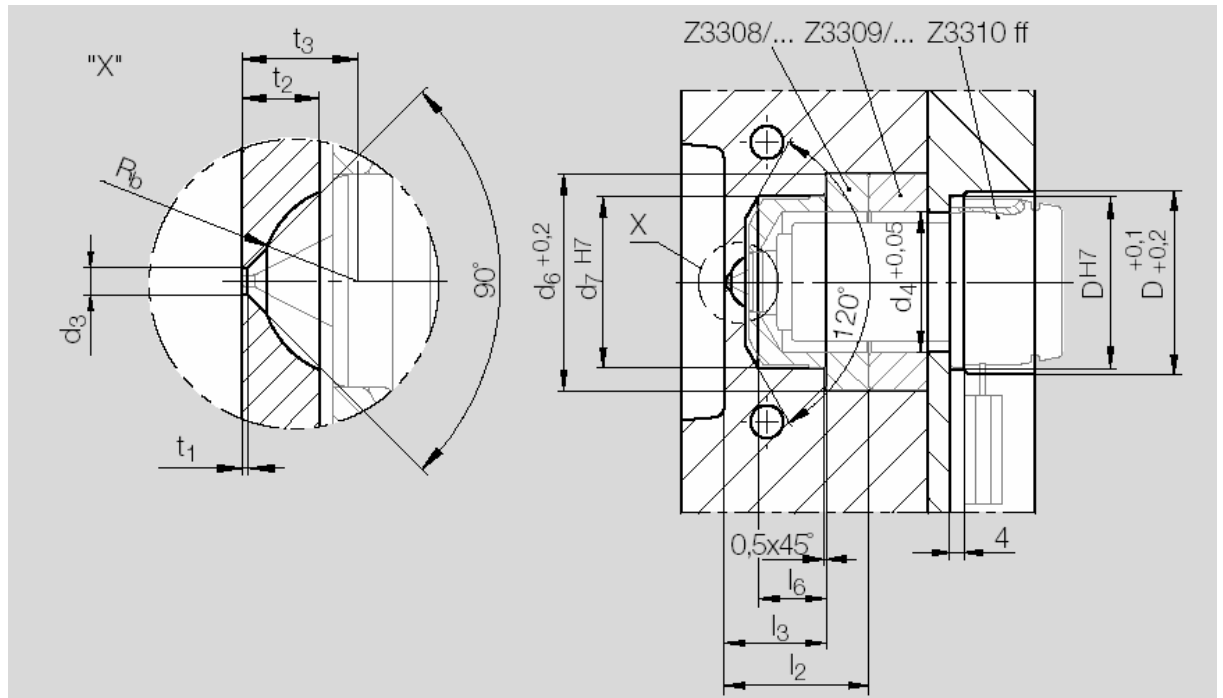
Distanzhülse
Spacer sleeve
Tube d'entretoise

Mat.: 1.2311/ 1080 N/mm²



d ₆	d ₄	D	l ₁	Nr./No.	EDV-Nr.
25	13,7	16	20	Z3309/16 x 20	2000124
			50	16 x 50	2000125
27	16	20	15	Z3309/20 x 15	2000126
			45	20 x 45	2000127
34	21,5	25	16	Z3309/25 x 16	2000128
			31	25 x 31	2000129
			60	25 x 60	2000130
40	26	32	15	Z3309/32 x 15	2000131
			32	32 x 32	2000132
			52	32 x 52	2000133
48	32,5	40	32	Z3309/40 x 32	2000134
			64	40 x 64	2000135
			92	40 x 92	2000136
58	40	50	37	Z3309/50 x 37	2000137
			97	50 x 97	2000138
			187	50 x 187	2000139

11.2.5 Meme Montaj Şekli



Einbaumaße

Mounting dimensions

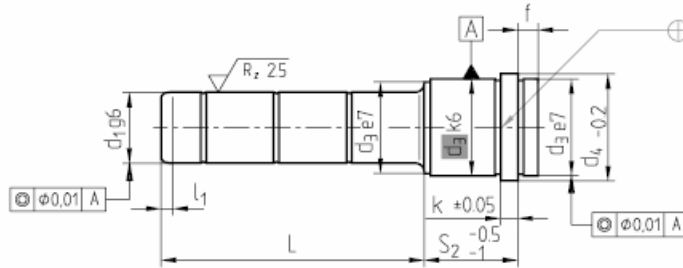
Côtes de montage

Z3307/... Z3308/... Z3309/...	D	l ₂	l ₃	l ₆	t ₃	t ₂	t ₁	R _b	Z33201/... Z33202/... Z3310/... Z3360/...	Z3340/...	d ₃	d ₄	d ₅	d ₆	d ₇	Z3310 ff
16...	16	17	9	5,5	3,6	2,5	0,1	3	1 -1,4	0,8-1,2	13,7	10	25	18		/16x 50
																63
																80
20...	20	22	14	9,9		2,6			1,2-1,4	1 -1,4	16		27	20		/20x 50
																63
																80
25...	25			8,7	6	3,5	0,2	5	1,6-2	1,2-1,8	21,5	12	34	26		/25x 56
																63
																71
																80
																100
32...	32	27	19	12,6		4	0,3		1,8-2,4	1,4-2	26	14	40	32		/32x 63
																71
																80
																90
																100
40...	40		17	8,9	8			7	2,2-3	1,6-2,5	32,5	16	48	40		/40x 80
																90
																100
																112
																125
																140
50...	50	36	26	15,5	10,25	6		9	2,5-3,5	1,8-3	40	18	58	50		/50x100
																112
																125
																140
																160
																200
																250

11.2.6 Merkezleme Civataları ve Burçları

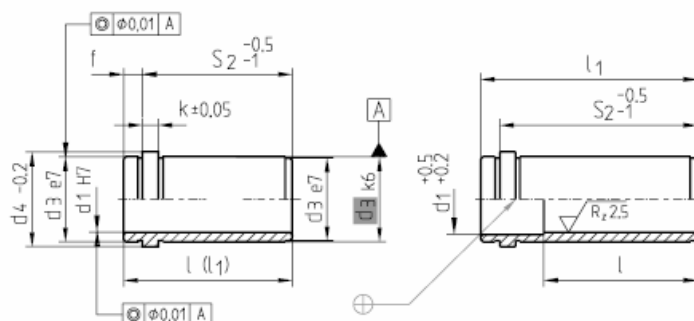
Z 00/...

Mat.: $\approx 1.0401/690 + 70 \text{ HV } 30$
 $\approx \text{DIN } 16761\text{-A}$



			$\varnothing$				$\varnothing$			
l_1	f	k	d_3	d_4	S_2	d_1	L	Nr./No.	d_1	Nr./No.
7	9	6	42	47	96	30	155	Z 00/ 96/30 x 155	32	Z 00/ 96/32 x 155
							205	205		205
						116	75	Z 00/116/30 x 75	32	Z 00/116/32 x 75
							115	115		115
							155	155		155
					136	30	95	Z 00/136/30 x 95	32	Z 00/136/32 x 95
							115	115		115
							155	155		155
					156	30	115	Z 00/156/30 x 115	32	Z 00/156/32 x 115
							155	155		155
					196	30	155	Z 00/196/30 x 155	32	Z 00/196/32 x 155
							195	195		195
7	12	10	54	60	46	40	95	Z 00/ 46/40 x 95	42	Z 00/ 46/42 x 95
							165	165		165
						56	75	Z 00/ 56/40 x 75	42	Z 00/ 56/42 x 75
							115	115		115
							155	155		155
							195	195		195
					66	40	75	Z 00/ 66/40 x 75	42	Z 00/ 66/42 x 75
							135	135		135
						76	75	Z 00/ 76/40 x 75	42	Z 00/ 76/42 x 75
							115	115		115
							175	175		175
					86	40	75	Z 00/ 86/40 x 75	42	Z 00/ 86/42 x 75
							135	135		135
					96	40	75	Z 00/ 96/40 x 75	42	Z 00/ 96/42 x 75
							115	115		115
							155	155		155
							195	195		195
					116	40	95	Z 00/116/40 x 95	42	Z 00/116/42 x 95
							135	135		135
						136	95	Z 00/136/40 x 95	42	Z 00/136/42 x 95
							135	135		135
					156	40	115	Z 00/156/40 x 115	42	Z 00/156/42 x 115
							155	155		155
							215	215		215
					196	40	155	Z 00/196/40 x 155	42	Z 00/196/42 x 155
							195	195		195
							235	235		235
					246	40	165	Z 00/246/40 x 165	42	Z 00/246/42 x 165
							245	245		245

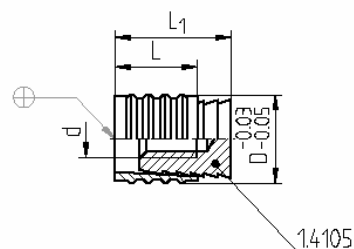
Mat.: $\approx 1.0401/690 + 70 \text{ HV } 30$
 $\approx \text{DIN } 16716 - \text{C}$

87

11.2.7 Soğutma Kanalı Tıkacı

Z 942 / ...

Mat.: 2.0401

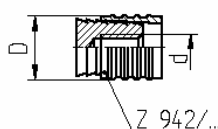
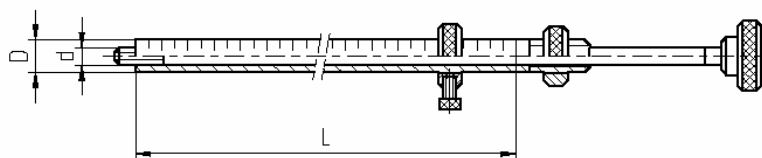


INFO

L ₁	L	d	D	Nr./No.
11,5	8	M3	6	Z 942/ 6
		M4	8	8
14	10	M6	10	10
			12	12
16	12	M8	16	16

11.2.8 Soğutma Kanal Tıkacını Monte Aparatı

Z 945 / 1



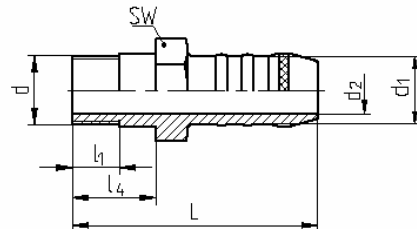
INFO

Z 942 / ...				Typ 1	Nr./No. Z 945 / 1
25	d	D	L		
	M3	6	150		
	M4	8	200		
	M6	10	250		

11.2.9 Soğutma Kanalı Bağlantıları

Z 88 / ...

Mat.: 2.0401



Z85/...
Z851/...
Z853/...



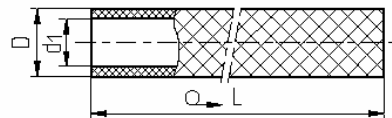
INFO

SW	L	l ₁	l ₄	d ₂	d ₁	d	Nr./No.
11	40,5	7	14	6	9	M 10 x 1	Z 88/9/10 x 1
						G 1/8 A	9/R 1/8
15	47	9	16	8	13	M 12 x 1,5	13/12 x 1,5
				9		M 14 x 1,5	13/14 x 1,5
						G 1/4 A	13/R 1/4

SW	L	l ₁	l ₄	d ₂	d ₁	d	Nr./No.
27	62	12	22	13	19	M 24 x 1,5	Z 88/19/24 x 1,5
						G 1/2 A	19/R 1/2

Z 851 / ...

Mat.: PVC

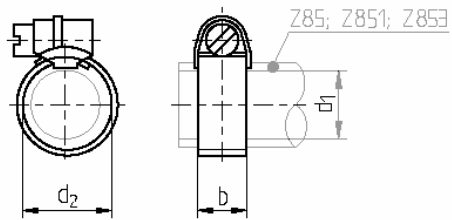


INFO

Farbe / Colour / Couleur	Medium	↙	t [°C]	bar (20°C)	D	L [mm]	d ₁	Nr./No.
Transparent, rot	Luft / air / air	≅ 35	70	19	15	25 000	9	Z 851 / 9
Transparent, red	Wasser / water / eau	≅ 60		15	20		13	13
Transparent, rouge		≅ 90		12	26		19	19

Z 86 / ...

DIN 3017-1

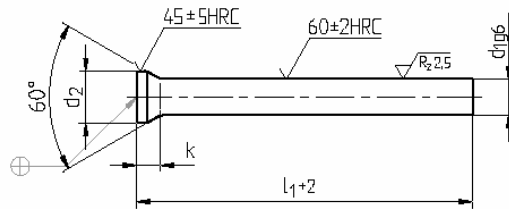


b	min. d ₂	max. d ₂	d ₁	Nr./No.
9	10	16	9	Z 86 / 9
12	12	20	13	13
	20	32	19	19

11.2.10 İticiler

Z 42/...

Mat.: WS (≈ 1.2516)
DIN 1530-3



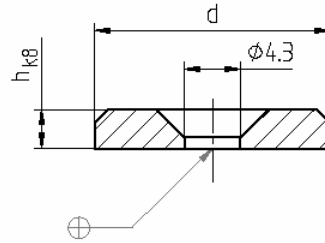
d_2	k	d_1	l_1	Nr./No.
1,8	1,2	1	40	Z 42/1 x 40
			60	60
			80	80
			100	100
			125	125
			160	160
			200	200
1,8	1,1	1,1	100	Z 42/1,1 x 100
			125	125
			160	160
			200	200
2	1,2	1,2	100	Z 42/1,2 x 100
			125	125
			160	160
			200	200
2	1,1	1,25	100	Z 42/1,25 x 100
			125	125
			160	160
			200	200
2	1,1	1,3	100	Z 42/1,3 x 100
			125	125
			160	160
			200	200
2,2	1,2	1,4	100	Z 42/1,4 x 100
			125	125
			160	160
			200	200
2,2	1,1	1,5	40	Z 42/1,5 x 40
			60	60
			80	80
			100	100
			125	125
			160	160
			200	200
2,5	1,3	1,6	100	Z 42/1,6 x 100
			125	125
			160	160
			200	200
2,5	1,2	1,7	100	Z 42/1,7 x 100
			125	125
			160	160
			200	200

d_2	k	d_1	l_1	Nr./No.
2,8	1,5	1,75	100	Z 42/1,75 x 100
			125	125
			160	160
			200	200
2,8	1,4	1,8	100	Z 42/1,8 x 100
			125	125
			160	160
			200	200
2,8	1,3	1,9	100	Z 42/1,9 x 100
			125	125
			160	160
			200	200
3	1,4	2	40	Z 42/2 x 40
			60	60
			80	80
			100	100
			125	125
3,2	1,5	2,1	100	Z 42/2,1 x 100
			125	125
			160	160
			200	200
3,2	1,4	2,2	100	Z 42/2,2 x 100
			125	125
			160	160
			200	200
3,5	1,5	2,3	100	Z 42/2,3 x 100
			125	125
			160	160
			200	200
3,5	1,5	2,4	100	Z 42/2,4 x 100
			125	125
			160	160
			200	200
3,5	1,4	2,5	40	Z 42/2,5 x 40
			60	60
			80	80
			100	100
			125	125
			160	160
			200	200

11.2.11 İtici Plaka Pulları

Z 55/...

Mat.: 1.0711/980 N/mm²

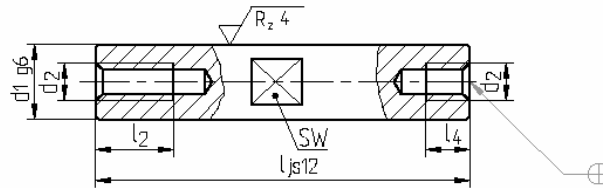


d	h	Nr./No.
18	3	Z 55/18 x 3
28		28 x 3

11.2.12 İtici Mili ve Saplamlar

Z 02/...

Mat.: $\approx$ 1.0401/ 720 HV 30



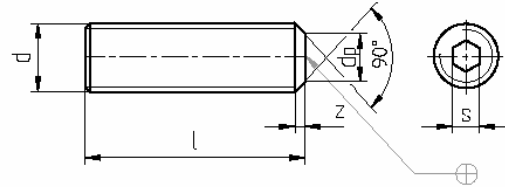
NEU
NEW
NOUVEAU

SW	l ₄	l ₂	d ₂	d ₁	l	Nr./No.
9	9	16	M 6	10	60	Z 02/10 x 60
					70	70
					80	80
					100	100
					120	120
					140	140
12	11	16	M 8	14	60	Z 02/14 x 60
					70	70
					80	80
					100	100
					120	120
					140	140
					160	160
					180	180
14	12	20	M 10	18	100	Z 02/18 x 100
					120	120
					140	140
					160	160
					180	180
					200	200
					220	220
					240	240
16	14	25	M12	20	100	● Z 02/20 x 100
					120	● 120
					140	● 140
					160	● 160
					180	● 180
					220	● 220
					240	● 240
19	14	25	M 12	24	180	Z 02/24 x 120
					220	140
					260	160
					300	180
						200
						240
24	16	30	M 16	30		Z 02/30 x 180
						220
						260
						300

11.2.13 İtici Mili Vida Bağlantısı

Z 35 / ...

Mat.: min. 1455 N/mm²
DIN 913 - 45H



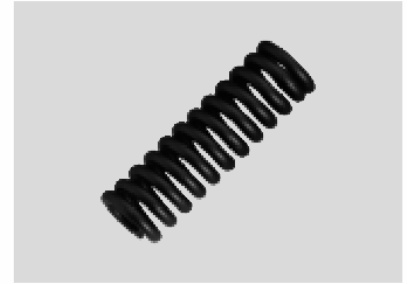
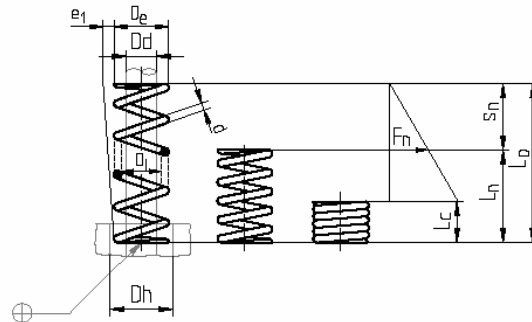
s	z	d _p	d	l	Nr. / No.
1,5	0,5	2	M 3	6	Z 35 / 3 x 6
				8	8
2	0,75	2,5	M 4	6	Z 35 / 4 x 6
				8	8
				10	10
				12	12
2,5	0,75	3,5	M 5	6	Z 35 / 5 x 6
				8	8
				10	10
				12	12
				16	16
3	1	4	M 6	6	Z 35 / 6 x 6
				8	8
				10	10
				12	12
				16	16
				20	20

s	z	d _p	d	l	Nr. / No.
4	1,25	5,5	M 8	8	Z 35 / 8 x 8
				10	10
				12	12
				16	16
				20	20
5	1,5	7	M 10	30	30
				10	Z 35 / 10 x 10
				12	12
				16	16
				20	20
6	1,75	8,5	M 12	30	30
				40	40
				12	Z 35 / 12 x 12
				16	16
				20	20
8	2	12	M 16	30	30
				40	40
				20	Z 35 / 16 x 20
				30	30
				40	40

11.2.14 İtici Mili Bası Yayı

Z 60/...

≈ DIN 2098 -1

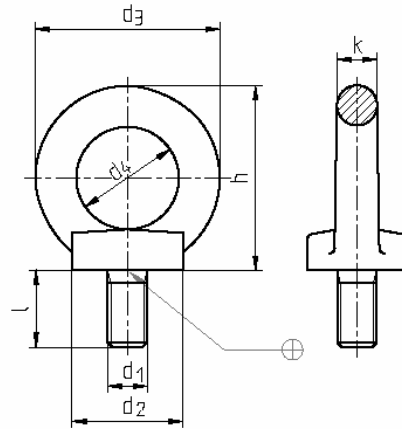


s_n	L_n	L_c	F_n [N]	D_e	d	e_1	D_h	D_d	D_i	L_0	Nr./No.
2,2	6,5	5,25	10,8	3	0,5	0,44	3,4	1,6	2	8,7	Z 60/ 2 x 8,7
3,5	7,5	6,6	38,5	3,26	0,63	0,55	3,8	1,5		11	11
5,2	10,3	9,15				0,78				15,5	15,5
4,7	12,8	10,25	28,5			0,88				17,5	17,5
2,7	7	6	32,4	4,8	0,8	0,5	5,3	2,7	3,2	9,7	Z 60/ 3,2x 9,7
6	13,5	11,6				1				19,5	19,5
3	9	8,4	108	6	1,2	0,6	6,6	3	3,6	12	Z 60/ 3,6x12
		7,5	44,1		1	0,6	6,7	3,3	4		Z 60/ 4 x12
9,9	24,6	20,5				1,7				34,5	34,5
4,25	5,75	4,5	39,2	6,8	0,9	0,5	7,5	4,3	5	10	Z 60/ 5 x10
7,2	9,8	9,4	133	7,5	1,25	0,85	8,2			17	17
11,2	13,8	13,15				1,25				25	25
5	10	9,2	136	8	1,4	0,75	8,9		5,2	15	Z 60/ 5,2x15
4	21	20	446	12	2,7	1,25	13	5,6	6,6	25	Z 60/ 6,6x25
8,7	9,3	8,4	182,5	10	1,5	0,9	10,9	6,1	7	18	Z 60/ 7 x18
8,9	10,1	7,5	33,4	9	1	0,95	9,9			19	19
6	14	13,5	314	11,2	2,1	1	12,1			20	20
18,5	21,5	18,75	141	10	1,5	2	10,9			40	40
10	15	12,75	177	11	1,7	1,25	11,9	6,7	7,6	25	Z 60/ 7,6x25
12,3	7,7	6,9	85,3	11,2	1,25	1	12,1	7,8	8,7	20	Z 60/ 8,7x20
42,9	21,1	18,15				3,2				64	64
28	22	19,2	147	12,2	1,6	2,5	13,3	7,9	9	50	Z 60/ 9 x50
29,7	25,3	21,5	108	12	1,5	2,75	13			55	55
35,6	24,4	22,5	118			3				60	60
16	14	13,5	216	13	1,8	1,5	14	8,3	9,4	30	Z 60/ 9,4x30
17,6	22,4	17,5	206	14	2	2	15,1	8,9	10	40	Z 60/10 x40
25	25	22,5	245			1,5				50	50
18	65	58	1320	18	4	4,15	19,2	8,8		83	83
8	27	25	1330	19		1,75	20,2	9,8	11	35	Z 60/11 x35
18	22	17,8	226	15,2	2,1	2	16,3	9,9		40	40
20	30	20	220			2,5				50	50
24	36	24,2	211			3				60	60
28	42	26,3	224			3,5				70	70
32	48	30,5	217			4				80	80
36	54	34,7	211			4,5				90	90
14	31	28,5	481	17,5	3	2,25	18,6	10,4	11,5	45	Z 60/11,5x45
16	34	31,5	471			2,5				50	50
44	41	32,5	260	17	2,25	4,25	18,1	11,4	12,5	85	Z 60/12,5x85
6	29	27,5	1630	23	5	1,75	24,3	11,7	13	35	Z 60/13 x35
12	28	24,5	736	20	3,5	2	21,3			40	40
38,6	31,4	29,2	245	17,5	2,25	3,5	18,7			70	70
12	48	46,4	1960	24	5,3	3,0	25,3	12,1	13,4	60	Z 60/13,4x60
15,6	34,4	31,5	1140	21,5	4	2,5	22,8	12,2	13,5	50	Z 60/13,5x50
11	59	56	4600	27,8	7	3,5	29,2	12,4	13,8	70	Z 60/13,8x70

11.2.15 Kalıp Taşıma Halkaları

Z 71/...

Mat.: 1.0401
DIN 580



									
max. kg	max. kg	l	d ₂	d ₃	d ₄	h	k	d ₁	Nr./No.
140	95	13	20	36	20	36	8	M 8	Z 71/ 8
230	170	17	25	45	25	45	10	M 10	10
340	240	20,5	30	54	30	53	12	M 12	12
700	500	27	35	63	35	62	14	M 16	16
1200	830	30	40	72	40	71	16	M 20	20
1800	1270	36	50	90	50	90	20	M 24	24
3600	2600	45	65	108	60	109	24	M 30	30

11.3 Ek C : Mesh sorunları

Moldflow programında karşılaşılan ve mesh statistics’de de listelenen sorunlar hakkında bilgiler.

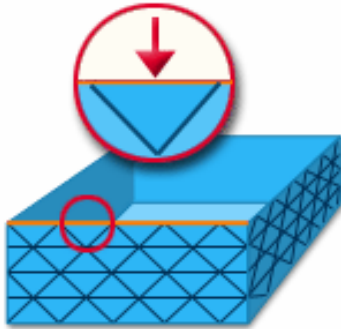
11.3.1 Entity Counts (Varlık Sayısı)

Modelin bölünmesi ile ilgilidir. Enjeksiyon presinde genellikle tek bölüm amaçlanır. Bir beam elementi veya kutu ve kapak gibi iki ayrı model var ise sayı artar. Tek modelde bu sayının birden yüksek çıkması olası bütünlüklük, bağlantı (connectivity) sorunlarını işaret eder.

11.3.2 Edge Details (Kenar Detayı)

Eleman kenarlarına ait bilgidir. Midplane (orta düzlem) mesh için serbest kenarlar (free edges) sadece modelin kenarlarında oluşur, 3D veya Fusion mesh için serbest kenar oluşumu bütünlüklük, bağlantı (connectivity) sorunlarına işaretir. Düzeltilmemesi aynı nodelarda farklı sayısal değerleri oluşturacaktır.

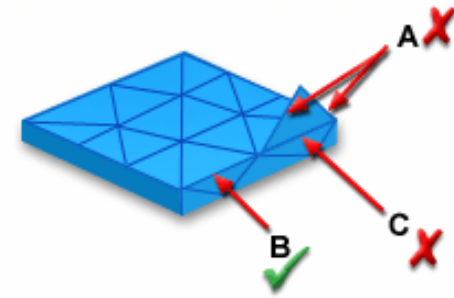
11.3.2.1 Free Edges (Serbest Kenarlar)



Şekilde diğer elemanlarla bağlantıda olmayan bir kenar görünmektedir. Bu kenar bir orta düzlem (midplane) meshinde bulunduğu ve model kenarı ile çakıştığı için sağlıklıdır.

Şekil 11-1 Serbest Kenarlara örnek, Orta Düzlem Mesh

11.3.2.2 Manifold Edges (Katlı Kenarlar)



- A** = Free Edges
B = Manifold Edge
C = Non-Manifold Edge

Kenarın birden fazla bölüme (entity) dahil olması, bir mesh bozukluğudur. Şekil 7-2’de görünen en büyük yüzeyin şekildeki gibi aşağıya ya da hatalı tria elemanına bağlı yukarıya devam etmesi gerekir. Aynı anda ikisini de gerçekleştirmesi olanaksızdır. Bu tip elemanlara manifold edges (katlı kenarlar) denir ve 3D bir meshde tüm kenarlar non-manifold (katlı olmayan) olmalıdır.

Şekil 11-2 Serbest ve katlı kenarlara örnek

11.3.3 Orientation Details (Yönelim Detayları)

Alan vektörlerinin dışarıya yönelmesi gerekir, bu durum eleman içerisinde yüzeyi oluşturan nodeların saat yönünün tersine numaralandırması ile (vektörel çarpım, sağ el kuralı) başırlır. Bir midplane (orta düzlem) mesh için akış analizinde önemi yoktur. Fakat soğuma ve çarpılma analizlerinde midplane dikinde gerilmeler oluşacağından, tüm elemanlar aynı yönde yönelmelidir. 3D ve Fusion mesh için ise tüm elemanlar modelden dışarıya doğru yönelmelidir. İdeal durumda bu parametre 0 (sıfır) olmalıdır.

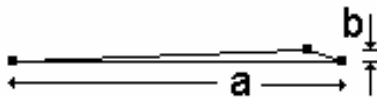
11.3.4 Intersection Details (Eleman Kesişmesi)

Bu bileşen bir noktada kaç tane elemanın olduğunu gösterir, normalde modelin her noktasında bir ve ancak bir (tek) eleman olması gerekmektedir. Eleman boyutları ve nodları değiştirilerek düzeltilmelidir.

11.3.5 Aspect Ratio (Basıklık Oranı)

11.3.5.1 Surface Triangle Aspect Ratio (Üçgen Eleman B. O.)

Üçgenin yükseklik/en oranıdır. Eşkenar üçgen bir eleman (oran : 1), eleman içerisindeki dağılımın daha doğru olmasını sağlayacaktır.



Şekil 11-3 Basıklık Oranına örnek (Aspect Ratio : a/b)

Aslında akış yönündeki eleman uzamasının sonuca etkisinin olmadığı kanıtlanmıştır³⁷, fakat bu oranın belirlenmesinde akış yönü dikkate alınmamaktadır. Sorunlu elemanlar işaretlenerek incelenmelidir. Bu bileşenin en az – ortalama – en çok parametreleri vardır. En çok parametresinin genel anlamda 6 (altı) sayısını geçmemesi istenir.

11.3.5.2 Tetra Aspect Ratio (Düzgün Dörtüzlü Eleman B. O.)

Düzgün dörtüzlü elemanın yükseklik/tabana yüksekliği oranıdır ve akış yönünde olmadığı sürece 50 (elli) katını geçmemesi beklenir.

11.3.6 Match Ratio (Benzerlik Oranı)

Sadece Fusion mesh denen, Moldflow programına özgü bir meshleme algoritmasına ait bir parametredir. Fusion mesh, üst ve alt yüzeylerin ayrı ayrı meshlenip birbirine bağlanarak 3D bir mesh oluşturma yöntemidir (hatta Fusion mesh durumunda modelde üç boyutlu bir mesh, olmasına rağmen ara bağlantılar görüntülenememektedir). Match ratio (benzerlik oranı), bu üst ve alt yüzeylerdeki meshin benzeşen elemanlarının oranıdır.

11.4 Ek D : Detaylı Analiz Sonuçları

Aşağıda analizler esnasında, tüm adımların yazıldığı Screen Output dosyalarının birebir kopyası bulunmaktadır. Tüm değerler, projede de kullanılan son analizlere aittir. İterasyon sayısının yakınsama için yeterli gelmediği uyarılar, yeterince yakınsama görüldüğü için dikkate alınmamıştır. Beam elemanlarının uzunluk/çap oranının kötü bulunması, oranın akış yönünde olduğu bilindiğinden dikkate alınmamıştır.

11.4.1 Dolum, Akış ve Ütuleme Analizi

Copyright Moldflow Corporation and Moldflow Pty. Ltd. All Rights Reserved.
(C)1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004
This product may be covered by
US patent 6,096,088 ,
Australian Patent No. 721978 ,
and foreign patents and pending applications

3D Flow Analysis

Version: mpi500 (Build 04453)

Analysis running on host: e

Operating System: Windows XP Service Pack 2

Processor type: GenuineIntel x86 Family 6 Model 13 Stepping 6 ~1497 MHz

Number of Processors: 1

Total Physical Memory: 1022 MBytes

37 S.Yamakawa, C.Shaw, K.Shimada, Layered Tetrahedral Meshing of Thin-Walled Solids for Plastic Injection Molding FEM [elektronik versiyon].

Analysis commenced at Mon Nov 21 17:38:43 2005
Mesh and boundary conditions file name : cordless_drill_flow.udm
Restarting analysis from file named : cordless_drill_flow~4.m3r

Model Information

=====

Number of cavity nodes used in analysis = 43993
Number of cavity tetrahedral elements used in analysis = 241988
Total number of injection location nodes = 1
The injection location node numbers are:
48667

Machine parameters

=====

Machine maximum injection pressure = 180.00 MPa

Material Information

=====

Manufacturer UMG ABS Ltd
Trade name Cyclocac PS-507

Process Conditions

=====

Mold temperature = 30.00 C
Melt temperature = 210.00 C
Fill time = 2.00 s

Velocity/pressure switch-over setting:

Percentage volume of the part = 100.0000 %

Method of pressure control :

Pressure ram control type = Linear

Pack/hold pressure profile (abs):
duration pressure

0.0000 s 50.0000 MPa
5.0000 s 50.0000 MPa

Packing/Holding time = 5.00 s
Cooling time = 20.0000 s

Flow Solver Type

=====

Using fast flow solver

Output Options

=====

Writing intermediate results : At constant intervals

Number of fill intervals in velocity control phase = 5
Number of time intervals in pressure control phase = 5

Filling Solver Numerical Parameters

Percentage of part volume filled per time step = 1.000 %
Number of free surface sub-steps per time step = 10
Pressure/velocity convergence limit = 10
Pressure/velocity convergence tolerance = 0.001000
Pressure iteration limit = 5000
Temperature iteration limit = 500
Pressure iteration tolerance = 1.0000E-05
Temperature iteration tolerance = 1.0000E-08

Packing Solver Numerical Parameters.

Maximum time step = 2.0000 s
Minimum time step = 0.0100 s
Time step variation factor = 1.0000
Pressure/velocity convergence limit = 10

Pressure/velocity convergence tolerance = 0.010000
 Pressure iteration limit = 5000
 Temperature iteration limit = 10000
 Pressure iteration tolerance = 1.0000E-06
 Temperature iteration tolerance = 1.0000E-08

Atmospheric Conditions

=====

Atmospheric temperature = 25.00 C

Total volume = 86.0213 cm³
 Total part volume = 86.0213 cm³
 Total projected area = 172.3710 cm²
 Total flow rate = 43.0107 cm³/s

Filling Phase:

Time (s)	Filled Vol (%)	Inj Press (MPa)	ClampForce (tonne)	Total Mass (g)	Frozen Vol (%)
0.0006	0.029	7.450e-02	4.170e-04	2.46e-02	0.000
0.0026	0.126	9.652e-02	5.588e-04	1.05e-01	0.298
0.0064	0.318	7.077e-02	4.181e-04	2.62e-01	0.281
0.0110	0.545	2.509e-01	1.488e-03	4.49e-01	0.367
0.0186	0.920	8.820e-01	6.850e-03	7.60e-01	0.741
0.0287	1.415	1.322e+00	1.534e-02	1.17e+00	1.068
0.0411	2.026	1.544e+00	2.242e-02	1.67e+00	1.388

** WARNING 220013 ** Iteration limit reached while convergence measure
 was 0.019080

0.0533	2.628	1.798e+00	3.328e-02	2.17e+00	1.620
0.0642	3.167	2.042e+00	4.758e-02	2.62e+00	1.850
0.0761	3.749	2.291e+00	6.545e-02	3.10e+00	2.090
0.0886	4.367	2.521e+00	8.515e-02	3.62e+00	2.302
0.1011	4.981	2.760e+00	1.089e-01	4.12e+00	2.489
0.1145	5.641	2.964e+00	1.323e-01	4.67e+00	2.685
0.1279	6.304	3.167e+00	1.572e-01	5.22e+00	2.877
0.1412	6.959	3.365e+00	1.828e-01	5.76e+00	3.046
0.1553	7.659	3.513e+00	2.043e-01	6.34e+00	3.186
0.1702	8.391	3.689e+00	2.299e-01	6.95e+00	3.340
0.1837	9.059	3.847e+00	2.560e-01	7.50e+00	3.479
0.1977	9.749	3.973e+00	2.779e-01	8.07e+00	3.608
0.2133	10.514	4.139e+00	3.079e-01	8.71e+00	3.793

** WARNING 220013 ** Iteration limit reached while convergence measure
 was 0.001972

Time (s)	Filled Vol (%)	Inj Press (MPa)	ClampForce (tonne)	Total Mass (g)	Frozen Vol (%)
0.2265	11.167	4.282e+00	3.354e-01	9.25e+00	3.931
0.2409	11.874	4.454e+00	3.708e-01	9.84e+00	4.078
0.2550	12.567	4.576e+00	3.972e-01	1.04e+01	4.212
0.2684	13.229	4.680e+00	4.223e-01	1.10e+01	4.317
0.2836	13.980	4.845e+00	4.606e-01	1.16e+01	4.442
0.2970	14.639	4.986e+00	4.953e-01	1.21e+01	4.552
0.3109	15.323	5.118e+00	5.312e-01	1.27e+01	4.662
0.3255	16.041	5.239e+00	5.650e-01	1.33e+01	4.799
0.3407	16.790	5.351e+00	5.972e-01	1.39e+01	4.906
0.3567	17.579	5.491e+00	6.420e-01	1.46e+01	5.039
0.3710	18.281	5.603e+00	6.764e-01	1.52e+01	5.155
0.3871	19.069	5.737e+00	7.187e-01	1.58e+01	5.273
0.4035	19.878	5.877e+00	7.664e-01	1.65e+01	5.398

** WARNING 220013 ** Iteration limit reached while convergence measure
 was 0.001218

0.4180	20.586	5.975e+00	8.012e-01	1.71e+01	5.499
--------	--------	-----------	-----------	----------	-------

0.4335	21.352	6.113e+00	8.519e-01	1.77e+01	5.597
0.4488	22.100	6.250e+00	9.050e-01	1.83e+01	5.701
0.4648	22.885	6.388e+00	9.612e-01	1.90e+01	5.830
0.4782	23.543	6.477e+00	9.976e-01	1.95e+01	5.893
0.4931	24.277	6.574e+00	1.036e+00	2.02e+01	5.980
0.5086	25.034	6.715e+00	1.099e+00	2.08e+01	6.074
Time	Filled Vol	Inj Press	ClampForce	Total Mass	Frozen Vol
(s)	(%)	(MPa)	(tonne)	(g)	(%)
0.5223	25.705	6.821e+00	1.147e+00	2.14e+01	6.149
0.5379	26.474	6.929e+00	1.195e+00	2.20e+01	6.232
0.5543	27.279	7.046e+00	1.251e+00	2.27e+01	6.339
0.5690	28.000	7.170e+00	1.313e+00	2.33e+01	6.413
0.5844	28.754	7.293e+00	1.377e+00	2.39e+01	6.496
0.6008	29.559	7.422e+00	1.442e+00	2.46e+01	6.596
0.6158	30.298	7.526e+00	1.494e+00	2.52e+01	6.666
0.6313	31.055	7.651e+00	1.563e+00	2.58e+01	6.758
0.6459	31.772	7.760e+00	1.622e+00	2.64e+01	6.828
0.6616	32.535	7.877e+00	1.689e+00	2.71e+01	6.929
0.6769	33.284	8.022e+00	1.772e+00	2.77e+01	7.009
0.6912	33.981	8.178e+00	1.869e+00	2.83e+01	7.090
0.7063	34.721	8.315e+00	1.952e+00	2.89e+01	7.172
0.7224	35.505	8.463e+00	2.045e+00	2.96e+01	7.260
0.7370	36.218	8.583e+00	2.121e+00	3.02e+01	7.341
0.7531	37.004	8.740e+00	2.223e+00	3.08e+01	7.422
0.7671	37.688	8.892e+00	2.323e+00	3.14e+01	7.491
0.7823	38.430	9.016e+00	2.401e+00	3.20e+01	7.560
0.7967	39.137	9.149e+00	2.493e+00	3.26e+01	7.626
0.8114	39.855	9.294e+00	2.595e+00	3.32e+01	7.685
Time	Filled Vol	Inj Press	ClampForce	Total Mass	Frozen Vol
(s)	(%)	(MPa)	(tonne)	(g)	(%)
0.8268	40.606	9.433e+00	2.690e+00	3.38e+01	7.755
0.8409	41.296	9.554e+00	2.775e+00	3.44e+01	7.817
0.8557	42.021	9.702e+00	2.883e+00	3.50e+01	7.882
0.8707	42.753	9.836e+00	2.978e+00	3.56e+01	7.946
0.8859	43.499	9.979e+00	3.086e+00	3.63e+01	8.010
0.9010	44.236	1.013e+01	3.201e+00	3.69e+01	8.068
0.9168	45.013	1.026e+01	3.303e+00	3.75e+01	8.129
0.9325	45.777	1.042e+01	3.427e+00	3.82e+01	8.191
0.9473	46.500	1.055e+01	3.523e+00	3.88e+01	8.242
0.9642	47.331	1.069e+01	3.634e+00	3.95e+01	8.314
0.9792	48.061	1.083e+01	3.746e+00	4.01e+01	8.366
0.9946	48.811	1.100e+01	3.889e+00	4.07e+01	8.437
1.0100	49.562	1.115e+01	4.020e+00	4.14e+01	8.489
1.0254	50.314	1.130e+01	4.146e+00	4.20e+01	8.543
1.0403	51.042	1.144e+01	4.263e+00	4.26e+01	8.589
1.0556	51.789	1.157e+01	4.368e+00	4.32e+01	8.638
1.0705	52.518	1.170e+01	4.494e+00	4.39e+01	8.689
1.0855	53.252	1.183e+01	4.599e+00	4.45e+01	8.732
1.1019	54.051	1.199e+01	4.742e+00	4.51e+01	8.790
1.1174	54.811	1.212e+01	4.866e+00	4.58e+01	8.842
Time	Filled Vol	Inj Press	ClampForce	Total Mass	Frozen Vol
(s)	(%)	(MPa)	(tonne)	(g)	(%)
1.1331	55.578	1.226e+01	4.984e+00	4.64e+01	8.891
1.1482	56.314	1.240e+01	5.115e+00	4.70e+01	8.932
1.1641	57.095	1.253e+01	5.234e+00	4.77e+01	8.975
1.1805	57.896	1.268e+01	5.375e+00	4.84e+01	9.028
1.1963	58.670	1.282e+01	5.510e+00	4.90e+01	9.075
1.2109	59.380	1.293e+01	5.614e+00	4.96e+01	9.113
1.2255	60.097	1.307e+01	5.743e+00	5.02e+01	9.151
1.2419	60.896	1.319e+01	5.862e+00	5.09e+01	9.201
1.2573	61.652	1.332e+01	5.983e+00	5.15e+01	9.237

1.2727	62.407	1.345e+01	6.110e+00	5.22e+01	9.278
1.2880	63.153	1.358e+01	6.242e+00	5.28e+01	9.320
1.3032	63.890	1.371e+01	6.369e+00	5.34e+01	9.360
1.3185	64.639	1.383e+01	6.495e+00	5.41e+01	9.400
1.3341	65.404	1.396e+01	6.625e+00	5.47e+01	9.443
1.3497	66.163	1.410e+01	6.772e+00	5.53e+01	9.487
1.3652	66.923	1.422e+01	6.897e+00	5.60e+01	9.529
1.3807	67.682	1.434e+01	7.035e+00	5.66e+01	9.565
1.3971	68.484	1.447e+01	7.175e+00	5.73e+01	9.607
1.4129	69.250	1.461e+01	7.325e+00	5.79e+01	9.646
1.4288	70.029	1.475e+01	7.475e+00	5.86e+01	9.688
Time (s)	Filled Vol (%)	Inj Press (MPa)	ClampForce (tonne)	Total Mass (g)	Frozen Vol (%)
1.4455	70.846	1.490e+01	7.653e+00	5.93e+01	9.732
1.4606	71.581	1.504e+01	7.806e+00	5.99e+01	9.769
1.4761	72.334	1.516e+01	7.943e+00	6.05e+01	9.808
1.4919	73.108	1.530e+01	8.114e+00	6.12e+01	9.851
1.5073	73.856	1.544e+01	8.280e+00	6.18e+01	9.893
1.5222	74.576	1.561e+01	8.506e+00	6.24e+01	9.944
1.5373	75.310	1.579e+01	8.755e+00	6.31e+01	9.987
1.5507	75.953	1.596e+01	9.004e+00	6.36e+01	10.025
1.5652	76.656	1.618e+01	9.372e+00	6.42e+01	10.067
1.5800	77.367	1.646e+01	9.797e+00	6.48e+01	10.120
1.5927	77.973	1.685e+01	1.055e+01	6.54e+01	10.162
1.6071	78.649	1.711e+01	1.096e+01	6.60e+01	10.213
1.6203	79.283	1.730e+01	1.125e+01	6.65e+01	10.252
1.6350	79.993	1.750e+01	1.154e+01	6.71e+01	10.304
1.6476	80.598	1.767e+01	1.181e+01	6.76e+01	10.338
1.6612	81.259	1.787e+01	1.211e+01	6.82e+01	10.380
1.6751	81.929	1.804e+01	1.238e+01	6.88e+01	10.420
1.6884	82.574	1.825e+01	1.270e+01	6.93e+01	10.455
1.7023	83.244	1.848e+01	1.308e+01	6.99e+01	10.496
1.7151	83.858	1.867e+01	1.339e+01	7.04e+01	10.529
Time (s)	Filled Vol (%)	Inj Press (MPa)	ClampForce (tonne)	Total Mass (g)	Frozen Vol (%)
1.7289	84.525	1.891e+01	1.378e+01	7.10e+01	10.570
1.7413	85.119	1.915e+01	1.421e+01	7.15e+01	10.602
1.7530	85.679	1.940e+01	1.472e+01	7.20e+01	10.628
1.7650	86.250	2.020e+01	1.676e+01	7.25e+01	10.657
1.7782	86.828	2.070e+01	1.818e+01	7.30e+01	10.699
1.7905	87.386	2.102e+01	1.910e+01	7.35e+01	10.734
1.8027	87.953	2.126e+01	1.976e+01	7.40e+01	10.767
1.8149	88.534	2.153e+01	2.038e+01	7.45e+01	10.806
1.8260	89.057	2.179e+01	2.092e+01	7.50e+01	10.835
1.8365	89.550	2.204e+01	2.144e+01	7.54e+01	10.860
1.8476	90.077	2.236e+01	2.205e+01	7.59e+01	10.890
1.8583	90.583	2.269e+01	2.264e+01	7.63e+01	10.920
1.8690	91.089	2.296e+01	2.314e+01	7.68e+01	10.947
1.8804	91.629	2.324e+01	2.363e+01	7.72e+01	10.977
1.8921	92.184	2.349e+01	2.410e+01	7.77e+01	11.010
1.9033	92.721	2.379e+01	2.461e+01	7.82e+01	11.041
1.9144	93.245	2.409e+01	2.511e+01	7.87e+01	11.073
1.9251	93.753	2.436e+01	2.557e+01	7.91e+01	11.105
1.9357	94.257	2.473e+01	2.615e+01	7.95e+01	11.136
1.9456	94.718	2.507e+01	2.668e+01	8.00e+01	11.168
Time (s)	Filled Vol (%)	Inj Press (MPa)	ClampForce (tonne)	Total Mass (g)	Frozen Vol (%)
1.9547	95.147	2.539e+01	2.721e+01	8.03e+01	11.192
1.9638	95.576	2.568e+01	2.770e+01	8.07e+01	11.217
1.9729	96.004	2.600e+01	2.824e+01	8.11e+01	11.243
1.9810	96.385	2.638e+01	2.886e+01	8.14e+01	11.266

1.9890	96.755	2.672e+01	2.944e+01	8.18e+01	11.286
1.9972	97.138	2.711e+01	3.009e+01	8.21e+01	11.309
2.0048	97.492	2.747e+01	3.069e+01	8.24e+01	11.328
2.0122	97.837	2.790e+01	3.140e+01	8.27e+01	11.348
2.0196	98.174	2.836e+01	3.215e+01	8.30e+01	11.369
2.0260	98.466	2.883e+01	3.294e+01	8.33e+01	11.382
2.0314	98.701	2.928e+01	3.368e+01	8.35e+01	11.399
2.0356	98.881	2.971e+01	3.438e+01	8.37e+01	11.411
2.0392	99.032	3.033e+01	3.537e+01	8.38e+01	11.425
2.0412	99.093	3.162e+01	3.766e+01	8.40e+01	11.432
2.0443	99.160	3.388e+01	4.115e+01	8.41e+01	11.446
2.0484	99.241	3.615e+01	4.468e+01	8.43e+01	11.462
2.0530	99.347	3.812e+01	4.798e+01	8.45e+01	11.480
2.0583	99.502	4.038e+01	5.191e+01	8.47e+01	11.497
2.0630	99.608	4.238e+01	5.544e+01	8.49e+01	11.517
2.0671	99.694	4.523e+01	6.066e+01	8.51e+01	11.532
Time (s)	Filled Vol (%)	Inj Press (MPa)	ClampForce (tonne)	Total Mass (g)	Frozen Vol (%)
2.0720	99.762	4.882e+01	6.697e+01	8.54e+01	11.552
2.0770	99.813	5.241e+01	7.331e+01	8.56e+01	11.568
2.0822	99.876	5.592e+01	7.955e+01	8.58e+01	11.585
2.0870	99.932	5.938e+01	8.571e+01	8.60e+01	11.601
2.0913	99.959	6.324e+01	9.254e+01	8.62e+01	11.619
2.0957	99.979	6.746e+01	9.995e+01	8.64e+01	11.634
2.1004	99.998	7.231e+01	1.085e+02	8.66e+01	11.646

Part has filled. Switching to pressure control.

2.1052	100.000	5.000e+01	9.864e+01	8.64e+01	12.076
--------	---------	-----------	-----------	----------	--------

Summary at velocity/pressure switch-over

Injection pressure at velocity/pressure switch-over = 72.3063 MPa

Volume filled at velocity/pressure switch-over = 100.0000 %

End of filling phase results summary :

Total mass	=	86.4109 g
Frozen volume	=	12.0762 %
Injection pressure	=	50.0000 MPa
Current time from start of cycle	=	2.1052 s

Volumetric shrinkage - maximum	=	5.6003 %
--------------------------------	---	----------

Volumetric shrinkage - minimum	=	-0.5256 %
--------------------------------	---	-----------

Packing Phase:

Time (s)	Filled Vol (%)	Inj Press (MPa)	ClampForce (tonne)	Total Mass (g)	Frozen Vol (%)
2.1109	100.000	5.000e+01	9.549e+01	8.64e+01	12.236
2.1179	100.000	5.000e+01	9.383e+01	8.63e+01	12.352
2.1262	100.000	5.000e+01	9.257e+01	8.63e+01	12.461
2.1361	100.000	5.000e+01	9.144e+01	8.63e+01	12.580
2.1461	100.000	5.000e+01	9.055e+01	8.63e+01	12.691
2.1561	100.000	5.000e+01	8.980e+01	8.63e+01	12.801
2.1661	100.000	5.000e+01	8.917e+01	8.63e+01	12.907
2.1761	100.000	5.000e+01	8.863e+01	8.63e+01	13.013
2.1861	100.000	5.000e+01	8.817e+01	8.63e+01	13.115
2.1961	100.000	5.000e+01	8.777e+01	8.63e+01	13.220
2.2061	100.000	5.000e+01	8.742e+01	8.63e+01	13.317
2.2161	100.000	5.000e+01	8.712e+01	8.63e+01	13.417
2.2261	100.000	5.000e+01	8.685e+01	8.63e+01	13.517
2.2361	100.000	5.000e+01	8.662e+01	8.63e+01	13.611
2.2461	100.000	5.000e+01	8.642e+01	8.63e+01	13.708

2.2561	100.000	5.000e+01	8.625e+01	8.63e+01	13.806	
2.2661	100.000	5.000e+01	8.610e+01	8.63e+01	13.895	
2.2761	100.000	5.000e+01	8.596e+01	8.63e+01	13.988	
2.2861	100.000	5.000e+01	8.584e+01	8.63e+01	14.084	
2.2961	100.000	5.000e+01	8.574e+01	8.64e+01	14.175	
Time	Filled Vol	Inj Press	ClampForce	Total Mass	Frozen Vol	
(s)	(%)	(MPa)	(tonne)	(g)	(%)	
2.3061	100.000	5.000e+01	8.566e+01	8.64e+01	14.266	
2.3161	100.000	5.000e+01	8.557e+01	8.64e+01	14.356	
2.3261	100.000	5.000e+01	8.550e+01	8.64e+01	14.446	
2.3361	100.000	5.000e+01	8.544e+01	8.64e+01	14.535	
2.3471	100.000	5.000e+01	8.538e+01	8.64e+01	14.632	
2.3603	100.000	5.000e+01	8.531e+01	8.64e+01	14.747	
2.3762	100.000	5.000e+01	8.525e+01	8.64e+01	14.884	
2.3936	100.000	5.000e+01	8.518e+01	8.64e+01	15.034	
2.4110	100.000	5.000e+01	8.513e+01	8.64e+01	15.182	
2.4302	100.000	5.000e+01	8.508e+01	8.65e+01	15.342	
2.4513	100.000	5.000e+01	8.503e+01	8.65e+01	15.517	
2.4745	100.000	5.000e+01	8.499e+01	8.65e+01	15.708	
2.4976	100.000	5.000e+01	8.498e+01	8.65e+01	15.898	
2.5162	100.000	5.000e+01	8.497e+01	8.65e+01	16.052	
2.5310	100.000	5.000e+01	8.497e+01	8.66e+01	16.171	
2.5459	100.000	5.000e+01	8.494e+01	8.66e+01	16.291	
2.5637	100.000	5.000e+01	8.490e+01	8.66e+01	16.433	
2.5833	100.000	5.000e+01	8.487e+01	8.66e+01	16.589	
2.6029	100.000	5.000e+01	8.484e+01	8.66e+01	16.744	
2.6225	100.000	5.000e+01	8.484e+01	8.66e+01	16.897	
Time	Filled Vol	Inj Press	ClampForce	Total Mass	Frozen Vol	
(s)	(%)	(MPa)	(tonne)	(g)	(%)	
2.6421	100.000	5.000e+01	8.483e+01	8.66e+01	17.050	
2.6636	100.000	5.000e+01	8.479e+01	8.67e+01	17.217	
2.6895	100.000	5.000e+01	8.475e+01	8.67e+01	17.416	
2.7153	100.000	5.000e+01	8.470e+01	8.67e+01	17.614	
2.7412	100.000	5.000e+01	8.470e+01	8.67e+01	17.809	
2.7696	100.000	5.000e+01	8.469e+01	8.67e+01	18.023	
2.7981	100.000	5.000e+01	8.465e+01	8.68e+01	18.235	
2.8266	100.000	5.000e+01	8.459e+01	8.68e+01	18.446	
2.8607	100.000	5.000e+01	8.454e+01	8.68e+01	18.696	
2.8948	100.000	5.000e+01	8.453e+01	8.68e+01	18.947	
2.9290	100.000	5.000e+01	8.453e+01	8.69e+01	19.191	
2.9631	100.000	5.000e+01	8.447e+01	8.69e+01	19.436	
3.0006	100.000	5.000e+01	8.442e+01	8.69e+01	19.702	
3.0382	100.000	5.000e+01	8.437e+01	8.69e+01	19.966	
3.0758	100.000	5.000e+01	8.431e+01	8.70e+01	20.228	
3.1133	100.000	5.000e+01	8.430e+01	8.70e+01	20.490	
3.1509	100.000	5.000e+01	8.426e+01	8.70e+01	20.749	
3.1959	100.000	5.000e+01	8.420e+01	8.71e+01	21.059	
3.2410	100.000	5.000e+01	8.418e+01	8.71e+01	21.366	
3.2950	100.000	5.000e+01	8.411e+01	8.71e+01	21.731	
Time	Filled Vol	Inj Press	ClampForce	Total Mass	Frozen Vol	
(s)	(%)	(MPa)	(tonne)	(g)	(%)	
3.3383	100.000	5.000e+01	8.403e+01	8.71e+01	22.022	
3.3816	100.000	5.000e+01	8.395e+01	8.72e+01	22.312	
3.4335	100.000	5.000e+01	8.387e+01	8.72e+01	22.657	
3.4750	100.000	5.000e+01	8.381e+01	8.72e+01	22.931	
3.5165	100.000	5.000e+01	8.375e+01	8.73e+01	23.206	
3.5664	100.000	5.000e+01	8.368e+01	8.73e+01	23.532	
3.6162	100.000	5.000e+01	8.361e+01	8.73e+01	23.857	
3.6710	100.000	5.000e+01	8.353e+01	8.73e+01	24.213	
3.7258	100.000	5.000e+01	8.345e+01	8.74e+01	24.568	
3.7861	100.000	5.000e+01	8.337e+01	8.74e+01	24.958	

3.8464	100.000	5.000e+01	8.329e+01	8.74e+01	25.348
3.9067	100.000	5.000e+01	8.321e+01	8.75e+01	25.737
3.9670	100.000	5.000e+01	8.312e+01	8.75e+01	26.127
4.0334	100.000	5.000e+01	8.303e+01	8.75e+01	26.555
4.1063	100.000	5.000e+01	8.293e+01	8.76e+01	27.028
4.1793	100.000	5.000e+01	8.282e+01	8.76e+01	27.500
4.2377	100.000	5.000e+01	8.273e+01	8.77e+01	27.877
4.2960	100.000	5.000e+01	8.265e+01	8.77e+01	28.252
4.3427	100.000	5.000e+01	8.259e+01	8.77e+01	28.553
4.3894	100.000	5.000e+01	8.252e+01	8.77e+01	28.853
Time (s)	Filled Vol (%)	Inj Press (MPa)	ClampForce (tonne)	Total Mass (g)	Frozen Vol (%)
4.4408	100.000	5.000e+01	8.245e+01	8.78e+01	29.183
4.4819	100.000	5.000e+01	8.240e+01	8.78e+01	29.447
4.5230	100.000	5.000e+01	8.234e+01	8.78e+01	29.711
4.5682	100.000	5.000e+01	8.227e+01	8.78e+01	29.999
4.6224	100.000	5.000e+01	8.220e+01	8.78e+01	30.343
4.6821	100.000	5.000e+01	8.211e+01	8.79e+01	30.718
4.7418	100.000	5.000e+01	8.203e+01	8.79e+01	31.086
4.8134	100.000	5.000e+01	8.193e+01	8.79e+01	31.519
4.8921	100.000	5.000e+01	8.182e+01	8.80e+01	31.987
4.9551	100.000	5.000e+01	8.174e+01	8.80e+01	32.355
5.0181	100.000	5.000e+01	8.166e+01	8.80e+01	32.717
5.0875	100.000	5.000e+01	8.157e+01	8.80e+01	33.110
5.1637	100.000	5.000e+01	8.148e+01	8.81e+01	33.536
5.2552	100.000	5.000e+01	8.136e+01	8.81e+01	34.043
5.3284	100.000	5.000e+01	8.127e+01	8.81e+01	34.444
5.4015	100.000	5.000e+01	8.119e+01	8.82e+01	34.843
5.4601	100.000	5.000e+01	8.112e+01	8.82e+01	35.161
5.5187	100.000	5.000e+01	8.105e+01	8.82e+01	35.479
5.5655	100.000	5.000e+01	8.100e+01	8.82e+01	35.734
5.6123	100.000	5.000e+01	8.094e+01	8.82e+01	35.990
Time (s)	Filled Vol (%)	Inj Press (MPa)	ClampForce (tonne)	Total Mass (g)	Frozen Vol (%)
5.6639	100.000	5.000e+01	8.088e+01	8.82e+01	36.270
5.7051	100.000	5.000e+01	8.083e+01	8.83e+01	36.495
5.7463	100.000	5.000e+01	8.077e+01	8.83e+01	36.720
5.7958	100.000	5.000e+01	8.071e+01	8.83e+01	36.991
5.8551	100.000	5.000e+01	8.062e+01	8.83e+01	37.316
5.9264	100.000	5.000e+01	8.051e+01	8.83e+01	37.708
6.0047	100.000	5.000e+01	8.039e+01	8.84e+01	38.141
6.0909	100.000	5.000e+01	8.025e+01	8.84e+01	38.621
6.1857	100.000	5.000e+01	8.008e+01	8.84e+01	39.150
6.2900	100.000	5.000e+01	8.008e+01	8.84e+01	39.736
6.4151	100.000	5.000e+01	7.983e+01	8.85e+01	40.439
6.5153	100.000	5.000e+01	7.983e+01	8.85e+01	41.011
6.6354	100.000	5.000e+01	7.952e+01	8.85e+01	41.700
6.7315	100.000	5.000e+01	7.926e+01	8.86e+01	42.262
6.8276	100.000	5.000e+01	7.899e+01	8.86e+01	42.832
6.9045	100.000	5.000e+01	7.878e+01	8.86e+01	43.294
6.9814	100.000	5.000e+01	7.857e+01	8.86e+01	43.762
7.0660	100.000	5.000e+01	7.856e+01	8.87e+01	44.284
7.1052	100.000	5.000e+01	7.845e+01	8.87e+01	44.526
7.1365	100.000	0.000e+00	6.178e+01	8.84e+01	44.724
Time (s)	Filled Vol (%)	Inj Press (MPa)	ClampForce (tonne)	Total Mass (g)	Frozen Vol (%)
7.1616	100.000	0.000e+00	5.549e+01	8.84e+01	45.085
7.1817	100.000	0.000e+00	5.243e+01	8.83e+01	45.294
7.1978	100.000	0.000e+00	5.055e+01	8.83e+01	45.453
7.2106	100.000	0.000e+00	4.923e+01	8.83e+01	45.563
7.2235	100.000	0.000e+00	4.798e+01	8.83e+01	45.678

7.2376	100.000	0.000e+00	4.668e+01	8.83e+01	45.798
7.2531	100.000	0.000e+00	4.533e+01	8.82e+01	45.928
7.2702	100.000	0.000e+00	4.392e+01	8.82e+01	46.074
7.2891	100.000	0.000e+00	4.246e+01	8.82e+01	46.232
7.3097	100.000	0.000e+00	4.094e+01	8.82e+01	46.406
7.3325	100.000	0.000e+00	3.936e+01	8.82e+01	46.597
7.3553	100.000	0.000e+00	3.786e+01	8.82e+01	46.788
7.3826	100.000	0.000e+00	3.618e+01	8.81e+01	47.014
7.4126	100.000	0.000e+00	3.442e+01	8.81e+01	47.268
7.4427	100.000	0.000e+00	3.277e+01	8.81e+01	47.519
7.4757	100.000	0.000e+00	3.106e+01	8.81e+01	47.800
7.5021	100.000	0.000e+00	2.975e+01	8.81e+01	48.021
7.5286	100.000	0.000e+00	2.850e+01	8.81e+01	48.248
7.5497	100.000	0.000e+00	2.753e+01	8.80e+01	48.425
7.5709	100.000	0.000e+00	2.660e+01	8.80e+01	48.601
Time (s)	Filled Vol (%)	Inj Press (MPa)	ClampForce (tonne)	Total Mass (g)	Frozen Vol (%)
7.5941	100.000	0.000e+00	2.560e+01	8.80e+01	48.801
7.6128	100.000	0.000e+00	2.483e+01	8.80e+01	48.962
7.6276	100.000	0.000e+00	2.422e+01	8.80e+01	49.087
7.6425	100.000	0.000e+00	2.363e+01	8.80e+01	49.211
7.6589	100.000	0.000e+00	2.299e+01	8.80e+01	49.349
7.6769	100.000	0.000e+00	2.231e+01	8.80e+01	49.500
7.6968	100.000	0.000e+00	2.157e+01	8.80e+01	49.666
7.7186	100.000	0.000e+00	2.079e+01	8.80e+01	49.849
7.7425	100.000	0.000e+00	1.995e+01	8.80e+01	50.051
7.7689	100.000	0.000e+00	1.905e+01	8.80e+01	50.274
7.7979	100.000	0.000e+00	1.810e+01	8.80e+01	50.519
7.8298	100.000	0.000e+00	1.709e+01	8.80e+01	50.789
7.8650	100.000	0.000e+00	1.602e+01	8.80e+01	51.087
7.9036	100.000	0.000e+00	1.489e+01	8.79e+01	51.417
7.9422	100.000	0.000e+00	1.380e+01	8.79e+01	51.746
7.9847	100.000	0.000e+00	1.265e+01	8.79e+01	52.108
8.0272	100.000	0.000e+00	1.154e+01	8.79e+01	52.471
8.0696	100.000	0.000e+00	1.048e+01	8.79e+01	52.835
8.1121	100.000	0.000e+00	9.452e+00	8.79e+01	53.201
8.1546	100.000	0.000e+00	8.458e+00	8.79e+01	53.567
Time (s)	Filled Vol (%)	Inj Press (MPa)	ClampForce (tonne)	Total Mass (g)	Frozen Vol (%)
8.1971	100.000	0.000e+00	7.496e+00	8.79e+01	53.933
8.2396	100.000	0.000e+00	6.562e+00	8.79e+01	54.301
8.2863	100.000	0.000e+00	5.596e+00	8.79e+01	54.707
8.3330	100.000	0.000e+00	4.702e+00	8.79e+01	55.113
8.3798	100.000	0.000e+00	3.869e+00	8.79e+01	55.520
8.4265	100.000	0.000e+00	3.105e+00	8.79e+01	55.928
8.4732	100.000	0.000e+00	2.461e+00	8.79e+01	56.336
8.5199	100.000	0.000e+00	1.901e+00	8.79e+01	56.742
8.5667	100.000	0.000e+00	1.401e+00	8.79e+01	57.148
8.6134	100.000	0.000e+00	9.622e-01	8.79e+01	57.553
8.6601	100.000	0.000e+00	5.691e-01	8.79e+01	57.957
8.6975	100.000	0.000e+00	3.229e-01	8.79e+01	58.280
8.7387	100.000	0.000e+00	1.209e-01	8.79e+01	58.634
8.7839	100.000	0.000e+00	2.473e-02	8.79e+01	59.022
8.8382	100.000	0.000e+00	2.453e-02	8.79e+01	59.484
8.9033	100.000	0.000e+00	2.431e-02	8.79e+01	60.033
8.9815	100.000	0.000e+00	2.406e-02	8.79e+01	60.695
9.0753	100.000	0.000e+00	2.375e-02	8.79e+01	61.495
9.1878	100.000	0.000e+00	2.341e-02	8.79e+01	62.467
9.3229	100.000	0.000e+00	2.300e-02	8.79e+01	63.650
Time (s)	Filled Vol (%)	Inj Press (MPa)	ClampForce (tonne)	Total Mass (g)	Frozen Vol (%)

9.4850	100.000	0.000e+00	2.277e-02	8.79e+01	65.104
9.6795	100.000	0.000e+00	2.238e-02	8.79e+01	66.911
9.9129	100.000	0.000e+00	2.206e-02	8.79e+01	69.194
10.1930	100.000	0.000e+00	2.130e-02	8.79e+01	72.159
10.5291	100.000	0.000e+00	1.905e-02	8.79e+01	76.204
10.9325	100.000	0.000e+00	1.611e-02	8.79e+01	82.015
11.4164	100.000	0.000e+00	1.517e-02	8.79e+01	89.319
11.9300	100.000	0.000e+00	1.438e-02	8.79e+01	94.512
12.5462	100.000	0.000e+00	1.333e-02	8.79e+01	96.878
13.0851	100.000	0.000e+00	1.264e-02	8.79e+01	97.950
13.6404	100.000	0.000e+00	1.189e-02	8.79e+01	98.688
14.2778	100.000	0.000e+00	1.100e-02	8.79e+01	99.227
14.8033	100.000	0.000e+00	1.034e-02	8.79e+01	99.526
15.4340	100.000	0.000e+00	9.665e-03	8.79e+01	99.774
16.0814	100.000	0.000e+00	9.050e-03	8.79e+01	99.913
16.6797	100.000	0.000e+00	8.565e-03	8.79e+01	99.962
17.3976	100.000	0.000e+00	8.086e-03	8.79e+01	99.977
18.2591	100.000	0.000e+00	7.703e-03	8.79e+01	99.979
19.1868	100.000	0.000e+00	7.588e-03	8.79e+01	99.980
20.1617	100.000	0.000e+00	7.499e-03	8.79e+01	99.981
Time	Filled Vol	Inj Press	ClampForce	Total Mass	Frozen Vol
(s)	(%)	(MPa)	(tonne)	(g)	(%)
21.2178	100.000	0.000e+00	7.429e-03	8.79e+01	99.982
22.3388	100.000	0.000e+00	7.376e-03	8.79e+01	99.983
23.5626	100.000	0.000e+00	7.336e-03	8.79e+01	99.984
24.8777	100.000	0.000e+00	7.308e-03	8.79e+01	99.984
26.3288	100.000	0.000e+00	7.287e-03	8.79e+01	99.985
27.1052	100.000	0.000e+00	7.278e-03	8.79e+01	99.985

End of packing phase results summary :

Total mass = 87.8836 g
 Frozen volume = 99.9848 %
 Injection pressure = 0.0000 MPa
 Current time from start of cycle = 27.1052 s

 Volumetric shrinkage - maximum = 5.8163 %
 Volumetric shrinkage - minimum = -0.5256 %
 Maximum velocity = 0.0000 cm/s
 Maximum shear rate = 0.0000 1/s

Total number of warning messages in the log file : 3

Execution time

Analysis commenced at Mon Nov 21 17:38:43 2005
 Analysis completed at Mon Nov 21 19:32:12 2005
 CPU time used 6642.09 s
 equivalent to 1 hr, 50 min

11.4.2 Soğuma Analizi

Copyright Moldflow Corporation and Moldflow Pty. Ltd. All Rights Reserved.
 (C)1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999 2000
 (C)2001 2002 2003 2004

This product may be covered by
 US patent 6,096,088 ,
 Australian Patent No. 721978 ,
 and foreign patents and pending applications

Cool Analysis

Version: mpi500 (Build 04453)

Analysis running on host: e

Operating System: Windows XP Service Pack 2

Processor type: GenuineIntel x86 Family 6 Model 13 Stepping 6 ~1497 MHz

Number of Processors: 1

Total Physical Memory: 1022 MBytes

Analysis commenced at Mon Nov 21 03:07:19 2005

Executed: Mon Nov 21 03:07:21 2005

Mesh Type	= 3D Tets
Number of nodes	= 44209
Number of beam elements	= 213
Number of triangular elements	= 0
Number of tetrahedral elements	= 241988

Reading nodal data...

Reading beam element data...

Reading triangular element data...

Reading tetrahedral element data...

Method of calculating geometrical influence	= Parameter
Using a Geometry influence parameter	= 4.0

Cooling analysis type	= Manual
-----------------------	----------

Total number of part elements	= 15
Total number of runner elements	= 15
Total number of shell facets	= 21444
Total number of mold elements	= 546
Total number of circuit elements	= 198

Co-ordinates of part extremity:

	X	Y	Z
Maximum	160.78000 mm	182.11100 mm	115.00000 mm
Minimum	0.00000 mm	-0.00000 mm	-0.00550 mm
Orientation	321.56101 mm	364.22101 mm	230.00599 mm

** WARNING 701360 ** Beam element 21328 has a very bad length/diameter ratio

** WARNING 701360 ** Beam element 21329 has a very bad length/diameter ratio

** WARNING 701360 ** Beam element 21330 has a very bad length/diameter ratio

** WARNING 701360 ** Beam element 21331 has a very bad length/diameter ratio

** WARNING 701360 ** Beam element 21332 has a very bad length/diameter ratio

** WARNING 701360 ** Beam element 21333 has a very bad length/diameter ratio

** WARNING 701360 ** Beam element 21334 has a very bad length/diameter ratio

** WARNING 701380 ** Warnings were reported in the model

Check the mesh quality of the model

Co-ordinates of mold extremity:

	X	Y	Z
Center	80.39020 mm	91.05530 mm	57.49720 mm
Right corner	353.55601 mm	364.22101 mm	330.66300 mm
Left corner	-192.77599 mm	-182.11100 mm	-215.66901 mm

Using mesh aggregation

** WARNING 701360 ** Beam element 21328 has a very bad length/diameter ratio

** WARNING 701360 ** Beam element 21329 has a very bad length/diameter ratio

** WARNING 701360 ** Beam element 21330 has a very bad length/diameter ratio

** WARNING 701360 ** Beam element 21331 has a very bad length/diameter ratio

** WARNING 701360 ** Beam element 21332 has a very bad length/diameter ratio

** WARNING 701360 ** Beam element 21333 has a very bad length/diameter ratio

** WARNING 701360 ** Beam element 21334 has a very bad length/diameter ratio

** WARNING 701380 ** Warnings were reported in the model
Check the mesh quality of the model

Total Mbytes required for cooling analysis = 51.52
Total Mbytes available for cooling analysis = 9346.18

Now beginning the task: Input part model
Current time is: Mon Nov 21 03:21:14 2005

Now beginning the task: Input mold model
Current time is: Mon Nov 21 03:21:14 2005
Performing cooling network analysis

Inlet node	Flowrate in/out (lit/min)	Reynolds No. range circuit (MPa)	Press. drop over circuit (kW)	Pumping power over circuit
10542	4.23	10000.0 - 10000.0	0.0110	7.744e-04
10642	4.23	10000.0 - 10000.0	0.0110	7.744e-04

Now beginning the task: Boundary Integration
Current time is: Mon Nov 21 03:21:15 2005

Now beginning the task: Solution of equilibrium TMP field
Current time is: Mon Nov 21 03:22:22 2005

[Calculating 3D fluxes]	
[Time (s)][(%) Frozen]	
4.59	28.82
11.01	64.27
20.00	99.93

External iteration	Cycle time (s)	Avg temp iteration	Avg temp deviation	Dif temp iteration	Dif temp deviation	Circ temp residual
1	25.000	23	30.000000	0	0.000000	1.000000
1	25.000	10	15.000000	0	0.000000	1.000000
1	25.000	11	11.240400	0	0.000000	1.000000
1	25.000	30	9.933400	0	0.000000	1.000000
1	25.000	27	7.420520	0	0.000000	1.000000
1	25.000	16	24.819500	0	0.000000	1.000000
1	25.000	10	28.823799	0	0.000000	1.000000
1	25.000	25	24.704100	0	0.000000	1.000000
1	25.000	29	21.463900	0	0.000000	1.000000
1	25.000	29	8.234380	0	0.000000	1.000000
1	25.000	8	1.377710	0	0.000000	1.000000
1	25.000	13	0.351296	0	0.000000	1.000000
1	25.000	23	0.078346	0	0.000000	1.000000
1	25.000	53	0.063621	0	0.000000	1.000000

1	25.000	6	0.008312	0	0.000000	1.000000
---	--------	---	----------	---	----------	----------

Calculating 3D fluxes

Time (s)	(%) Frozen
4.59	22.05
11.01	46.21
20.00	96.96

Residual | 0.080513 |

External iteration	Cycle time (s)	Avg temp iteration	Avg temp deviation	Dif temp iteration	Dif temp deviation	Circ temp residual
1	25.000	223	4.945120	0	0.000000	1.000000
1	25.000	19	0.131403	0	0.000000	1.000000
1	25.000	120	0.809405	0	0.000000	1.000000
1	25.000	1	0.008821	0	0.000000	1.000000

Calculating 3D fluxes

Time (s)	(%) Frozen
4.59	22.03
11.01	46.33
20.00	97.25

Residual | 0.001318 |

External iteration	Cycle time (s)	Avg temp iteration	Avg temp deviation	Dif temp iteration	Dif temp deviation	Circ temp residual
1	25.000	36	0.001580	0	0.000000	1.000000
2	25.000	517	29.838200	0	0.000000	1.000000
2	25.000	17	0.899158	0	0.000000	1.000000
2	25.000	1	0.310973	0	0.000000	1.000000
2	25.000	4	0.098740	0	0.000000	1.000000
2	25.000	9	0.005775	0	0.000000	1.000000
2	25.000	22	0.005735	0	0.000000	1.000000

Calculating 3D fluxes

Time (s)	(%) Frozen
4.59	21.34
11.01	45.26
20.00	97.10

Residual | 0.007915 |

External iteration	Cycle time (s)	Avg temp iteration	Avg temp deviation	Dif temp iteration	Dif temp deviation	Circ temp residual
2	25.000	0	0.000926	0	0.000000	1.000000
3	25.000	804	6.398950	0	0.000000	0.003991

iteration	(s)	iteration	deviation	iteration	deviation	residual
5	25.000	27	0.001410	0	0.000000	0.000260

Coolant Temperatures

Inlet node	Coolant temp. range	Coolant temp. rise over circuit
10542	25.0 - 25.7	0.7 C
10642	25.0 - 25.7	0.7 C

Final circuit temperature residual: 0.00000E+00

Time (s)	(%) Frozen
4.59	21.25
11.01	45.06
20.00	96.99

Summary of Cavity Temperature Results

```

=====
Cavity surface temperature - maximum      = 113.0730 C
Cavity surface temperature - minimum      = 26.3220 C
Cavity surface temperature - average      = 46.9320 C
Average mold exterior temperature        = 26.3980 C
Cycle time                               = 25.0000 s

```

Execution time

Analysis commenced at	Mon Nov 21 03:07:19 2005
Analysis completed at	Mon Nov 21 03:39:09 2005
CPU time used	1898.62 s

11.4.3 Çarpılma Analizi

Copyright Moldflow Corporation and Moldflow Pty. Ltd. All Rights Reserved.
(C)2001 2002 2003 2004

This product may be covered by
US patent 6,096,088 ,
Australian Patent No. 721978 ,
and foreign patents and pending applications

Warpage Analysis

Version: mpi500 (Build 04453)

Analysis running on host: e

Operating System:	Windows XP Service Pack 2
Processor type:	GenuineIntel x86 Family 6 Model 13 Stepping 6 ~1497 MHz
Number of Processors:	1
Total Physical Memory:	1022 MBytes

Analysis commenced at Mon Nov 21 19:32:28 2005

Model file name: cordless_drill_flow.udm

Reading solver parameters...

Reading mechanical property and residual stress data...

Defining anchor plane...

Number of separate cavities = 1

Some elements have been upgraded to higher-order elements.

Number of original nodes: 43993

Number of midside nodes added: 296713

Total number of nodes in warpage analysis: 340706

Estimated memory requirement: 680 Mbytes.

Writing input file for structural analysis program...

Launching structural analysis program...

Reading structural analysis input file...

...finished reading structural analysis input file.

Beginning load incrementation loop...

Setting structure information...

Assembling stiffness matrix...

Solving finite element static equilibrium equations...

```
-----  
Kstep Kstra Nref Nite Node Ipos Negpv Detk Rfac Displacement  
-----  
1 1 1 0 53984 1 0 0.0e+00 1.000e+00 -7.652e-01
```

Minimum/maximum displacements at last step (unit: mm):

```
Node Min. Node Max.  
-----  
Trans-X 344770 -2.1116e-01 54083 5.0557e-01  
Trans-Y 330698 -1.2520e-01 52805 7.2151e-01  
Trans-Z 54544 -3.0755e-01 49325 2.4367e-01
```

Structural analysis completed in 45124.80 secs.

Writing result file...

Execution time

Analysis commenced at Mon Nov 21 19:33:51 2005

Analysis completed at Tue Nov 22 08:06:54 2005

CPU time used 44288.10 s

Warpage analysis has completed successfully.