

67816

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Y. Doç. Dr.
Ferhat Dikmen
Doç. Dr.
Hüseyin Sönmez
Doç. Dr.
Cemalettin Yaman

F.B.E. YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

BİLGİSAYAR DESTEKLİ PLASTİK ENJEKSİYON KALIP TASARIMI

Mak. Müh. Uğur ÖZ

F.B.E. Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Konstrüksiyon Programında
hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı

:Y.Doç. Dr. Ferhat DİKMEN

İSTANBUL , 1997

İÇİNDEKİLER

| | Sayfa No |
|------------------------------------------------|----------|
| SEMBOL LİSTESİ | v |
| ŞEKİL LİSTESİ | vi |
| TABLO LİSTESİ | viii |
| KISALTMALAR LİSTESİ | ix |
| TEŞEKKÜR | x |
| ÖZET | xi |
| ABSTRACT | xii |
| 1.GİRİŞ | 1 |
| 1.1 BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIMIN ÖNEMİ | 1 |
| 1.2. PLASTİK PARÇA VE KALIP TASARIMINDA BDT | 1 |
| 1.3.KALIP TASARIMINDA AKIŞ ANALİZİ UYGULAMALRI | 2 |
| 2. GEOMETRİK MODELLEME | 4 |
| 2.1.GEOMETRİK MODELLEMeye GİRİŞ | 4 |
| 2.2. MODELLEME TEKNİKLERİ | 4 |
| 2.2.1.Tel Kafes Modelleme | 5 |
| 2.2.2. Yüzey Modelleme | 6 |
| 2.2.3.Katı Modelleme | 6 |
| 2.2.3.1.Unsur Tabanlı Modelleme | 9 |
| 2.2.3.2.Varyasyonel Taslak Oluşturma | 10 |
| 2.2.3.3.Parametrik Modelleme | 11 |
| 3.PLASTİK PARÇA TASARIMI | 13 |
| 3.1. TASARIMDA TEMEL NOKTALAR | 13 |
| 3.2.TASARIMIN VE MALZEMENİN SEÇİMİ | 14 |
| 3.3. TASARIM PARAMETRELERİ | 15 |
| 3.3.1.Pratik Mühendislik Yaklaşımı | 16 |
| 3.3.2.Geliştirilmiş Mühendislik yaklaşımı | 16 |
| 3.4.PLASTİK TIPLERİ | 17 |
| 3.5.PERFORMANSI ETKİLEYEN TASARIM ÖZELLİKLERİ | 17 |
| 3.5.1.Ürün Tasarım Noktaları | 17 |

| | |
|-----------------------------------------------------|----|
| 3.5.2.Keskin Köşeler | 19 |
| 3.5.3.Değişmeyen Et Kalınlığı | 20 |
| 3.5.4.Kaburgalar | 21 |
| 3.5.5.Yüzey Açıları | 22 |
| 3.5.6.Birleşme Noktaları | 23 |
| 3.5.7.Meme Boyutu ve Yerleşimi | 24 |
| 3.5.8.Et Kalınlığı Toleransı | 24 |
| 4.PLASTİK ENJEKSİYON KALIP TASARIMI | 26 |
| 4.1.TEMEL NOKTALAR | 26 |
| 4.2. KALIP TİPLERİ | 29 |
| 4.3. ERGİMİŞ PLASTİĞİN AKIŞI | 31 |
| 4.4. OYUKLARIN SAYISI | 32 |
| 4.5.KAPAMA KUVVETİ | 34 |
| 4.6.YOLLUK SİSTEMLERİ | 35 |
| 4.6.1.Besleme Kanalı | 36 |
| 4.6.2. Yolluklar | 38 |
| 4.6.2.1. Standart Yolluk Sistemi | 39 |
| 4.6.2.2. Sıcak-Yolluklu Sistemler | 39 |
| 4.6.2.3. Soğuk-Yolluk Sistemleri | 39 |
| 4.6.3. Yolluk Tasarımı | 40 |
| 4.6.4. Meme Tasarımı | 42 |
| 4.7.KALIP HAVALANDIRMASI | 45 |
| 4.8.KALIP SOĞUTMASI | 46 |
| 4.8.1. Soğuma Zamanı | 47 |
| 4.9.PARÇANIN KALİPTAN ÇIKARILMASI | 48 |
| 4.10.PARÇADAKİ GİRİNTİLER VE KALİPTA MAÇA KULLANIMI | 49 |
| 4.11. MALZEME ÇEKMESİ VE ÜRÜN TOLERANSI | 51 |
| 5.PLASTİK PARÇA VE KALIP TASARIMINDA BDT | 52 |
| 5.1.KALIP TASARIMINDA BDT'İN ÖNEMİ | 52 |
| 5.1.1.Verimlilik | 52 |
| 5.1.2.Kalite | 53 |
| 5.1.3.Tasarım ve İmalat Zamanı | 53 |

| | |
|----------------------------------------------------------|----|
| 5.1.4.Kaynak Kullanımı | 53 |
| 5.2.BDT ÖZELLİKLERİ | 54 |
| 5.2.1.Grup Teknolojisi | 54 |
| 5.2.2.Sonlu Eleman Modellemesi | 54 |
| 5.2.3.Gruplar | 55 |
| 5.2.4.Modeller | 55 |
| 5.2.5.Büyük Ölçekteki Geometrilerin Taşınması | 55 |
| 5.2.6.Model ve Çizim Modu Arasındaki İlişki | 55 |
| 5.3. KONVANSİYONAL TASARIM VE BDT AKIŞ ŞEMALARI | 56 |
| 5.3.1.Konvansiyonal Yöntem | 56 |
| 5.3.2.BDT Yöntemi | 58 |
| 6.PROSES ANALİZ ARAÇLARI | 62 |
| 6.1.TEMEL NOKTALAR | 62 |
| 6.2.AKIŞ ANALİZİNE GİRİŞ | 63 |
| 6.2.1.Ürün Tasarımcısı | 63 |
| 6.2.2.Kalıp Tasarımcısı | 64 |
| 6.2.3.Enjeksiyon İmalatçısı | 64 |
| 6.3.PLASTİĞİN KALIBA AKIŞI | 64 |
| 6.3.1.Temel Akış Analizi | 64 |
| 6.3.2. Sonlu Eleman Teknikleri | 66 |
| 6.4. C-MOLD® ANALİZ PROGRAMI | 67 |
| 6.4.1. Temel Noktalar | 67 |
| 6.4.2. Hedefler | 67 |
| 6.4.3. Özellikler | 68 |
| 6.5. TASARIMIN HAZIRLANMASI | 68 |
| 6.5.1. C-Mold Programında Kullanılan Malzeme Özellikleri | 70 |
| 6.5.2. C-Mold Programında Kullanılan Proses Koşulları | 72 |
| 6.6. ANALİZİN ÇALIŞTIRILMASI | 73 |
| 6.7. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ | 74 |
| 6.7.1.Grafiksel Çıktılar | 74 |
| 6.7.2. Metinsel Çıktılar | 76 |
| 6.8. İNCELEME ÇALIŞMASI | 77 |

| | |
|----------------------------------------------|----|
| 6.8.1. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi | 78 |
| SONUÇLAR | 82 |
| KAYNAKLAR | 84 |
| EK-1 | 85 |
| ÖZGEÇMİŞ | |



SEMBOL LİSTESİ

| | |
|------------------|--------------------------------------------|
| A | Toplam temas alanı (cm ²) |
| C | En az soğuma zamanı (sn) |
| E | Elastiklik değeri (kgf/cm ²) |
| F | Gerekli olan itici kuvvet (kgf) |
| P | Plastikleştirme kapasitesi |
| S | Atış ağırlığı(gr) |
| T | Ürün sıcaklığı (°C) |
| X | Dakikadaki tahmini atış sayısı |
| R _A | Besleme kanalı ucu küresel radyüsü (mm) |
| R _D | Nozul ucu küresel radyüsü (mm) |
| T _C | Silindir sıcaklığı (°C) |
| T _m | Kalıp sıcaklığı (°C) |
| T _x | Kalıp itme sıcaklığı (°C) |
| W ₁ | Birinci oyuktaki ürün ağırlığı(gr) |
| W ₂ | İkinci oyuktaki ürün ağırlığı(gr) |
| T _{büt} | Bütünsel ürün sıcaklığı (°C) |
| T _{ort} | Ortalama ürün sıcaklığı (°C) |
| d | Göbeği çevreleyen daire çapı(mm) |
| h | Ürün et-kalınlığı(mm) |
| t | Et- kalınlığı(mm) |
| d ₁ | Birinci oyuğun meme çapı(mm) |
| d ₂ | İkinci oyuğun meme çapı(mm) |
| d _N | Nozul orifis çapı (mm) |
| d _S | Besleme kanalı orifis çapı (mm) |
| t ₁ | Birinci oyuktaki memenin derinliği(mm) |
| t ₂ | İkinci oyuktaki memenin derinliği(mm) |
| α | Termal-yayıma sabiti (cm ² /sn) |
| γ | Poisson-oranı |
| μ | Sürtünme katsayısı |

ŞEKİL LİSTESİ

| | Sayfa No |
|------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Şekil 2.1. Tel kafes modelleme | 5 |
| Şekil 2.2. Yüzey Modelleme | 7 |
| Şekil 2.3. Süpürme Yöntemi ile eleman oluşturulması | 8 |
| Şekil 2.4. Katı Operatörlerin Temeli | 8 |
| Şekil 2.5. Unsur Tabanlı Modelleme | 9 |
| Şekil 2.6. Unsur-Tabanlı Modelleme | 10 |
| Şekil 2.7. Varyasyonel Taslak Oluşturma | 11 |
| Şekil 2.8. Parametrik Modelleme | 12 |
| Şekil 3.1. Plastik malzemelerin mekanik özellikleri | 13 |
| Şekil 3.2 -Tasarım programı Akış planı | 16 |
| Şekil 3.3. Kaburga ve Et-kalınlığı arasındaki ilişki | 18 |
| Şekil 3.4. İç Köşeler | 19 |
| Şekil 3.5 -Katı çelik dişli | 20 |
| Şekil 3.6 -Şekil 3.5'deki dişlinin plastik tasarımı | 20 |
| Şekil 3.7 - “Kötü” ve “İyi” tasarım özellikleri | 21 |
| Şekil 3.8 -Kaburganın parça et kalınlığına oranı | 22 |
| Şekil 3.9. Dış kenarların açlandırılması | 23 |
| Şekil 3.10. İç kenarların açlandırılması | 23 |
| Şekil 4.1.a. Enjeksiyon Kalıbı parçalarının gösterimi | 27 |
| Şekil 4.1.b. Plastik Enjeksiyon Kalıbı | 28 |
| Şekil 4.2. İki-Plakalı enjeksiyon kalıbı | 29 |
| Şekil 4.3. Üç-Plakalı enjeksiyon kalıbı | 30 |
| Şekil 4.4. Sıcak-Yolluklu enjeksiyon kalıbı | 30 |
| Şekil 4.5. Yolluk Sistemleri | 36 |
| Şekil 4.6. Makina nozulu ile besleme kanalı burcunun arasındaki kontak alanı | 36 |
| Şekil 4.7. Uygun ve Uygun olmayan kontak alanı tasarımları | 37 |
| Şekil 4.8. Besleme Kanalının boyutlandırılması | 38 |
| Şekil 4.9. Yolluk Çeşitleri | 41 |
| Şekil 4.10. Tam yuvarlak yolluk kesiti | 41 |
| Şekil 4.11. Meme Tipleri | 44 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.12. Termoplastik enjeksiyon kalıplarının havalandırma yöntemi | 45 |
| Şekil 4.13. Tavsiye edilen kalıp soğutma kanalları çap ve hatve değerleri | 46 |
| Şekil 4.14. Oyuk soğutucu sistemine bir örnek | 47 |
| Şekil 4.15. Kalıp sıcaklığının soğuma zamanına etkisi | 48 |
| Şekil 4.16. Kayarak kapama yöntemiyle girintilerin oluşturulması | 50 |
| Şekil 4.17. Mekanik olarak hareket eden maçalı kalıp | 50 |
| Şekil 5.1. Konvansiyonel metodla kalıp tasarımı akış şeması | 57 |
| Şekil 5.2. BDT yöntemiyle kalıp tasarımı akış şeması | 59 |
| Şekil 6.1. C-Mold Doldurma® Tasarım basamakları | 69 |
| Şekil 6.2. C-Mold Sonlu-eleman dokusu(geometri) | 69 |
| Şekil 6.3. C-Mold® analiz programı tasarım akış şeması | 71 |
| Şekil 6.4. Tasarımdaki meme boyutları | 78 |



TABLO LİSTESİ

| | Sayfa No |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Tablo 4.1. Enjeksiyon kalıbının fonksiyonları | 26 |
| Tablo 4.2. Termoplastiklerde akış uzaklığının et-kalınlığına olan en fazla oranı. | 32 |
| Tablo 4.3. Akış yolu ve kesit et-kalınlığına bağlı kapama basıncı değerleri. | 35 |
| Tablo 4.4. Yolluk tasarımını ve boyutlarını etkileyen faktörler. | 40 |



KISALTMALAR LİSTESİ

| | |
|------|-----------------------------------|
| BDİ | Bilgisayar Destekli İmalat |
| BDM | Bilgisayar Destekli Mühendislik |
| BDT | Bilgisayar Destekli Tasarım |
| BSK | Bilgisayar Sayısal Kontrollü |
| CIMP | Cornell Injection Molding Program |
| SEM | Sonlu Eleman Metodu |
| UTM | Unsur Tabanlı Modelleme |
| VTO | Varyasyonel Taslak Oluşturma |



TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tezimin hazırlanmasında samimi ve değerli yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer hocam Doç. Dr. Ferhat DİKMEN'e, tezin hazırlanması sırasında göstermiş oldukları her türlü destek sebebiyle KALEKALIP A.Ő. Genel Müdürü Sn.Osman OKYAY 'a , analiz çalışmalarındaki katkılarından dolayı Mak. Müh. Bülent ÖNALIR, Mak. Müh. Hami TORUN ve İNFOTRON A.Ő. çalışanlarına, tezin yazılmasında yardımcı olan Erdem TUZKAYA'ya , arkadaşım Mak. Müh. Aygün EROL'a ve son olarak ta bana bu dereceye kadar yükselmemde her zaman destek olan sevgili aileme teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Uğur ÖZ
Őubat, 1997

ÖZET

Bilgisayar Destekli Tasarım teknolojisi yardımıyla gerçekleştirilen mühendislik uygulamaları son yıllarda ülkemizde artmıştır. Bilgisayar Destekli Tasarım teknolojisi hakkında birçok firma gerekli çalışmaları yapmış ve maddi imkanları nispetinde Bilgisayar Destekli Tasarım sistemlerini kurmuştur. Bilgisayar Destekli Tasarım sistemlerinin ülkemizde uygulama alanları arttıkça Bilgisayar Destekli Mühendislik uygulamaları da endüstrimizde ilgi toplamaya başlamıştır.

Endüstrisi gelişme göstermiş ülkelerde(ABD, Tayvan, Kore gibi) plastik parça analizinde Bilgisayar Destekli Tasarım ve Bilgisayar Destekli Mühendislik sistemlerinin kullanılması bu sektörde hizmet veren firmalara büyük avantajlar sağlamış ve pazarda büyük pay sahibi olmuşlardır. Ülkemizde de plastik parça tasarım teknolojisinin gelişmesi bilgisayar teknolojisinin verimli olarak kullanılması ile mümkün olacaktır. Bu çalışma, BDT ve BDM uygulamaları ile nelerin yapılabileceğini daha iyi görebilmek ve sonuçları konvansiyonel yöntemlerle karşılaştırabilmek amacıyla yapılmıştır.

Bu çalışmada, BDT teknolojisinde kullanılan modelleme yöntemleri, plastik parça tasarımında dikkat edilmesi gereken noktalar ve bilgisayar destekli plastik enjeksiyon kalıp tasarımı ile konvansiyonel yöntemle enjeksiyon kalıp tasarımı karşılaştırma sonuçları hakkında açıklamalar verilmiştir.

Ayrıca, plastik enjeksiyon yöntemiyle imalatı yapılacak örnek bir parçanın Pro/Engineer® BDT sistemi kullanılarak geometrik modeli oluşturulmuş ve bu model üzerinde plastik enjeksiyon simülasyonu bir BDM uygulaması olan C-Mold doldurma analizi® programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan simülasyon sonunda enjeksiyon işlemi ile üretilecek plastik ürünün: kalıp tasarımı, kullanılacak enjeksiyon makinası, enjeksiyon işlemi proses parametreleri belirlenmiştir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, plastik enjeksiyon kalıp tasarımında BDT ve BDM sistemlerinin kullanılması tasarımcılara, kalıp ve enjeksiyon imalatçalarına bir çok yarar sağlayacak, tasarım zamanını, maliyetleri, malzeme kayıplarını, hatalı enjeksiyon üretimini azaltacak, ürün kalitesini arttıracak ve yeni ürünlerin piyasaya daha çabuk çıkmasına olanak sağlayacaktır. Bunun yanında, analiz çıktılarını değerlendirecek ve bu değerlendirmeye göre tasarımı değiştirecek kişi tasarımcı mühendis olacağı için BDM teknolojisinden elde edilecek yararlar bunu kullanacak kişinin bilgi ve becerisi ile direk olarak ilgilidir.

ABSTRACT

Recently, the number of engineering applications carried out by the help of Computer Aided Design technology has been increasing in our country. Many engineering companies, completed their feasibility study on computer aided design technology, was established computer aided design technology systems by using their resources. As the number of applications has been increasing in our country about the computer aided design systems , industrial companies started to pay-attention to the Computer Aided Engineering applications.

In the industrialized countries, using computer aided design and computer aided engineering technology to analyze plastic parts (USA, Taiwan, Korea, etc.) has providing them many advantages and they became leader in the plastic market. It is also possible to develop our plastic part design capability only by using computer technology, efficiently. This study has been accomplished to see clearly what can be done by the computer aided design and computer aided engineering applications and to compare the results with the conventional plastic injection mold design method.

In this study, some important explanations has been given about geometrical modeling on computer aided design technology, titles on plastic part design, and comparison results between conventional and computer aided design method on plastic injection mold design.

Additionally, a geometrical model of a sample part being produced by injection molding process has been generated by using Pro/Engineer® CAD system and a plastic injection simulation has been performed on this model by using the CAE software called C-Mold Filling® analyzer. At the end of simulation, following information has been obtained for the part being produced; Mold design, injection machine capacity being used and injection process parameters.

As a result of this study, using CAD and CAE technology on mold design helps designers, mold and injection manufacturers, saves time, money and raw material, reduces the rejection rate, improves part quality and gets new products to market faster. In addition, output results of the analyze will be evaluated and according to this evaluation design will be changed by the design engineer. So, the usefulness of the CAE technology depends on the proficiency of the user

1.GİRİŞ

1.1 BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIMIN ÖNEMİ

BDT(Bilgisayar Destekli Tasarım) adından da anlaşılacağı gibi bilgisayar yardımı ile tasarım yapma eylemidir.Bu eylem oluşmadan önce, teknoloji ilk olarak bilgisayarları ortaya çıkarmıştır. Bilgisayarlar önceleri, sürekli yapılan matematiksel işlemleri kolaylaştırmak amacıyla çıkmış, daha sonraları sabit disklerin bulunması ile birlikte bilgi depolama amacıyla kullanılmaya başlanmışlardır. Teknoloji geliştikçe bilgisayarlar birçok sektörde yer almaya başlamış ve tasarımlar da bilgisayar yardımı ile yapılmaya başlanmıştır.Tasarımdaki teknolojik gelişme sürecinde ilk olarak çizim programları oluşmuş, daha sonra da bilgisayar destekli tasarım programları piyasaya çıkmıştır.

Bu iki araç, tasarımcılara görevlerini kısa zamanda, verimli olarak ve tasarımlarını uygulamaya geçirmeden önce malzeme ve işçilik kaybına yol açmadan revize etmelerine olanak sağlamıştır. Bu yüzdendir ki , bilgisayar destekli tasarımın insan hayatının birçok alanında, sağlık sektöründe, ulaşımda, mimarlıkta, bilim kurgu filmlerinde kullanılması kaçınılmaz hale gelmiştir.

Mühendislik uygulamalarında, tasarım ile birlikte esas olarak analiz ve üretim metodlarının önemi bilinmektedir. Tasarımı yapılmış bir parçanın analiz ve üretim simülasyonu bilgisayar ortamında üç boyutlu geometrik modelleme ile yapılmaktadır. Bu sebeple, tasarımın üç boyutlu geometrik modelleme ile yapılması tasarımın görsel olarak sunulmasına, analiz yazılımlarının kullanılmasından önce veri hazırlanmasına, analiz yazılımlarının kullanılmasından sonra sonuçların değerlendirilmesine ve bilgisayar destekli üretime olanak sağlamaktadır.

1.2. PLASTİK PARÇA VE KALIP TASARIMINDA BDT

Plastik parça ve kalıp tasarım teknolojisi yıllar boyu gelişme göstermiş ve bununla birlikte birçok problem ortaya çıkarmıştır. Günümüzde kullanılan birçok kalıp tasarımları,

uzun yıllar gelişme ve büyüme gösteren plastik endüstrisinde pratik yapmış; uzman, sanatkar ve usta tarafından deneme yanılma yöntemleriyle ortaya çıkmıştır. Plastik endüstrisinin gelişmesiyle birlikte polimer malzemelerin anlaşılması ve proses parametrelerinin değiştirilmesi ile gösterdikleri reaksiyonlar hakkındaki bilgilerde de gelişme meydana gelmiştir. Sonuç olarak, şimdiye kadar sanat olarak düşünülen plastik tasarımındaki birçok olgu hakkında , plastik teknolojisinin gelişme göstermesiyle, açıklama elde edilmiştir. Geçmişte elde edilmiş bu kurallar günümüzde çeşitli analiz araçlarına aktarılmış ve bilgisayarlar yardımıyla hızlı, verimli, hassas ve kaliteli plastik tasarımına olanak sağlanmıştır.

Plastik teknolojisinin gelişmesine paralel olarak ta BDT ve BDİ konuları da yüzyılın en önemli gelişmesi olmaya aday hale gelmiştir. Geçmişte analiz ve bilgi işleme amaçlı kullanılan bilgisayarlar günümüzde tasarım işleminin temeline yardımcı olmakta ve grafiksel mühendislik bilgileri oluşturmaktadır.

Günümüzde BDT teknolojisi mühendislik tasarımına tamamiyle farklı bir metod getirmiştir. Öyle ki, BDT 'ın uygulamadaki kabul edilebilirliğine karşı çıkanlar olmuştur. Tasarımdaki bu farklı metodoloji tasarım bürolarında eski yöntemlerle tasarım yapan insanlar için anlaşılması ve kabul etmesi zor kavramları ortaya çıkarmıştır. Bütün bunlara rağmen BDT, plastik tasarım fonksiyonlarının hızını ve verimini arttırarak bir devrim gerçekleştirmektedir.

1.3.KALIP TASARIMINDA AKIŞ ANALİZİ UYGULAMALARI

Akış analizi, plastik enjeksiyon işleminde anlaşılması zor etkenlerden kaynaklanan problemlere rasyonel çözüm sağlar. Bu etkenlere: burkulma, enjeksiyon sırasındaki gerginlikler, aşırı enjeksiyon basıncı, parçada parlak bölgeler ve diğer uygunsuzluklar dahildir. Endüstride parça tasarımı ve enjeksiyon prosesi parametrelerinden kaynaklanan problemlerle ilgili ilişki tam olarak anlaşılammıştır. Akış analizi ile ilgili olan bütün enjeksiyon problemlerini çözmek için pratik tecrübenin kullanılması yeterli olmamıştır. Sonuca ulaşmak için birçok prototip ve enjeksiyon parametreleri ile ilgili iterasyon yapmak gereklidir.

Bu noktada, ürünleri geniş bir spektrum içinde plastik enjeksiyonunu yorumlayacak BDT ile bağlantılı çalışan Bilgisayar Destekli Mühendislik(BDM) uygulaması olarak bilinen analiz programları kullanılmaya başlanmıştır. Bilgisayarların kompleks hesaplamaları çok kısa zamanda gerçekleştirmeleri de bu tip analiz araçlarının yeni parçaların tasarımında uygulanabilirliğine olanak sağlamıştır.



2. GEOMETRİK MODELLEME

2.1.GEOMETRİK MODELLEMeye GİRİŞ

BDT ile parça tasarımı ve kalıp tasarımı, oluşturulan ürün modeli veri tabanı dışında normal metoda benzer.Ürün modeli teknik çizimden farklı olarak genellikle gerçek objenin üç boyutlu gösterimidir.Bu gösterim, yardımcı görünürlere veya diğer bilgilere ihtiyaç duyulmadan tasarımı yapılan objeyle ilgili her bilgiyi gösterir.Bu durumda, ürün modeli klasik modelin bütün bilgilerini içerir.Model “Birşeyin yapısını göstermek için oluşturulan temsil ; Tekrar daha dayanıklı bir malzemedan üretilecek bir şekil ; Bir örnek,oluşum veya yapının biçimi” olarak tanımlanır.Üç boyutlu ürün modeli daha sonradan birçok yarar sağlayan olanaklara sahiptir.Üç boyutlu model, ürün modeli üzerinde bulunan her olguya kolaylıkla tasvir oluşturulmasına olanak sağlamaktadır. Üç boyutlu modelleme gerek mühendislikte gerekse diğer alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.Analiz yazılımlarının kullanılmasından önce veri hazırlamada , analiz yazılımlarının kullanılmasından sonra sonuçların değerlendirilmesinde ve bilgisayar destekli üretimde üç boyutlu modelleme kullanılabilir.

2.2. MODELLEME TEKNİKLERİ

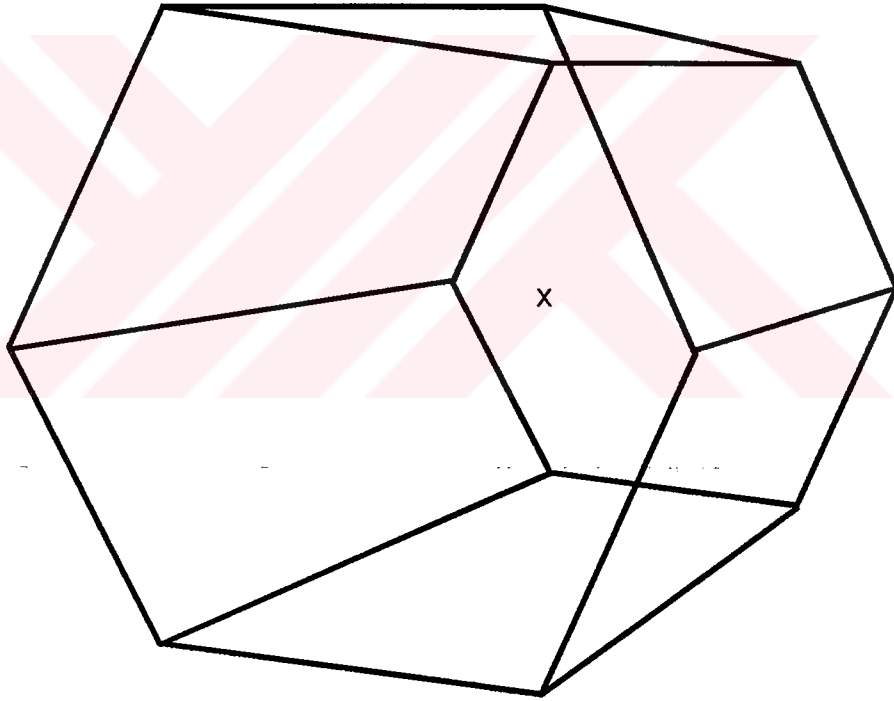
Üç boyutlu model oluşturulmasında ve modele ait bilgilerin depolanmasında ağırlıklı olarak uygulanan üç yöntem vardır. Herbir metod yararları ve ekonomikliği açısından farklılıklar göstermektedir. Bugün kullanımda olan bu üç modelleme tekniği şunlardır;

- 1)Tel kafes modelleme
- 2)Yüzey modelleme
- 3)Katı modelleme

Bu çalışmada bunlardan Tel kafes ve Yüzey modelleme teknikleri ile ilgili kısa bilgi verilecek, ayrıntılı olarak katı modelleme tekniği üzerinde durulacaktır.

2.2.1.Tel Kafes Modelleme

Tel kafes modelleme BDT ile modelleme tekniklerinin en basitidir.Bu yöntemde cismi oluşturan yüzeylerin sadece kenar çizgileri ve bunların kesişim noktaları tanımlanır(Şekil 2.1.).Tel kafes yöntemiyle cisimlerin modellenmesi oldukça kolaydır. Oluşturulan modelin bilgisayar ekranında öteleme, döndürme gibi transformasyonları hızlı bir şekilde yapılabilir.Kullanılan donanımda bellek gereksinimi azdır. Ancak, çoğu zaman gereken geometrik bilgiyi tam olarak taşınamaması ve görüntüde yanlışlıklara neden olması endüstriyel uygulamalarda bu yöntemle modellemenin yetersiz kaldığını göstermiştir.



Şekil 2.1.Tel kafes modelleme

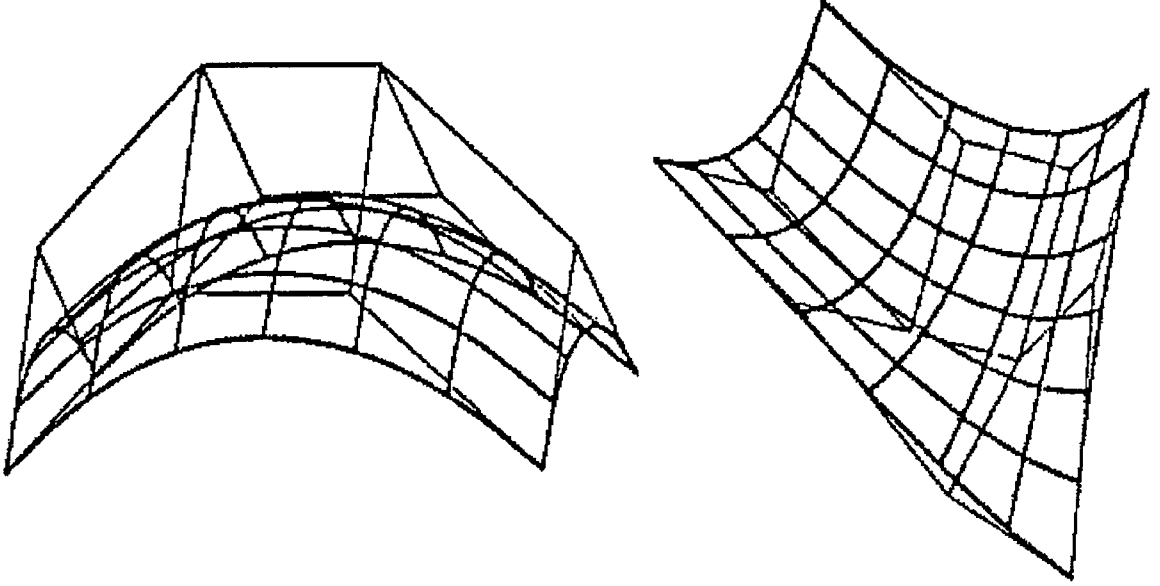
2.2.2. Yüzey Modelleme

Yüzey modelleme tel kafes modellemeden farklıdır.Bu yöntemle, geometrinin sadece köşeleri değil aynı zamanda yüzeyleri de tanımlanmaktadır.Model yüzeylerinin, kenarlarının ve karakteristik eğrilerinin tanımlanması gerekir.Yüzeylerin tasarlanmasında belirli kontrol noktalarının tanımlanması ile Bézier, NURBS gibi yaklaşımlar kullanılır(Şekil 2.2.).Yüzey modelleme, karmaşık üç boyutlu geometrilerin tasarlanmasında oldukça uygun bir yöntemdir.Uçakların, otomobillerin tasarımlarında , sayısal denetimli tezgahlarda işlenecek ve karmaşık yüzeyler içeren parçalar için takım yolunun belirlenmesi ve parça programlarının hazırlanmasında bu yöntem sıkça kullanılmaktadır.

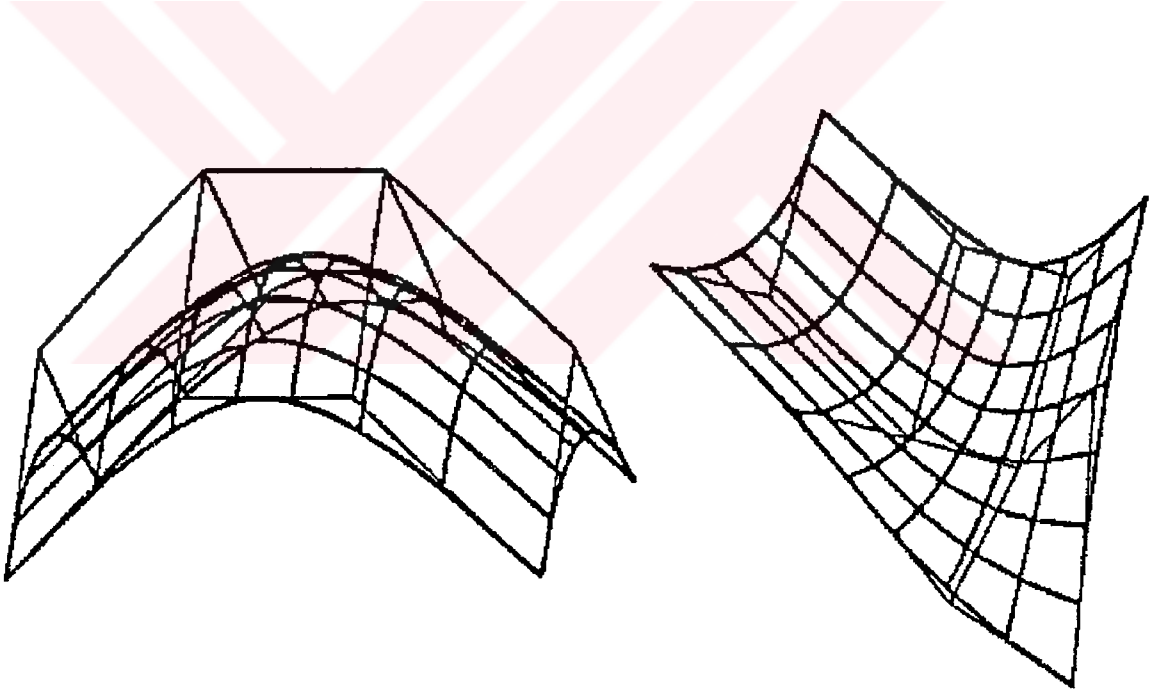
2.2.3.Katı Modelleme

Katı modelleme, günümüzde en fazla ilgi duyulan gerçek objenin modellenmesi için kullanılan bir yöntem haline gelmektedir.Katı modelleme, yüzey modelleme yönteminden bir basamak daha ileride, modeli yapılan ürünün gerçeğe uygun ve geçerli olmasını sağlayan bir yöntemdir.Bir ürünün katı modeli temel elemanların eklenmesi ve çıkarılması olarak bilinen Boolean metodu gibi birçok değişik metodla yaratılabilir.Burada bahsedilen temel geometriler küb,küre, silindir v.s. gibi objelerdir.

Diğer katı modelleme tekniği de 2-boyutlu bir profilin süpürülmesidir(Şekil 2.3.).Katı modelleme yönteminde cismi oluşturan kenarlar, yüzeyler ile bu kenar ve yüzeylerin ne şekilde bağlantılı oldukları tanımlanır.Cismin delikli olup olmadığı tanımlanır ve bu şekilde iç-dış geometrisi belirlenir.Modelin tasarlanmasında ve sunulmasında yanlıgıyı ve karışıklığı önler.Ağırlık, ağırlık merkezi, hacim gibi kütlelel özellikler de kolaylıkla hesaplanabilir.

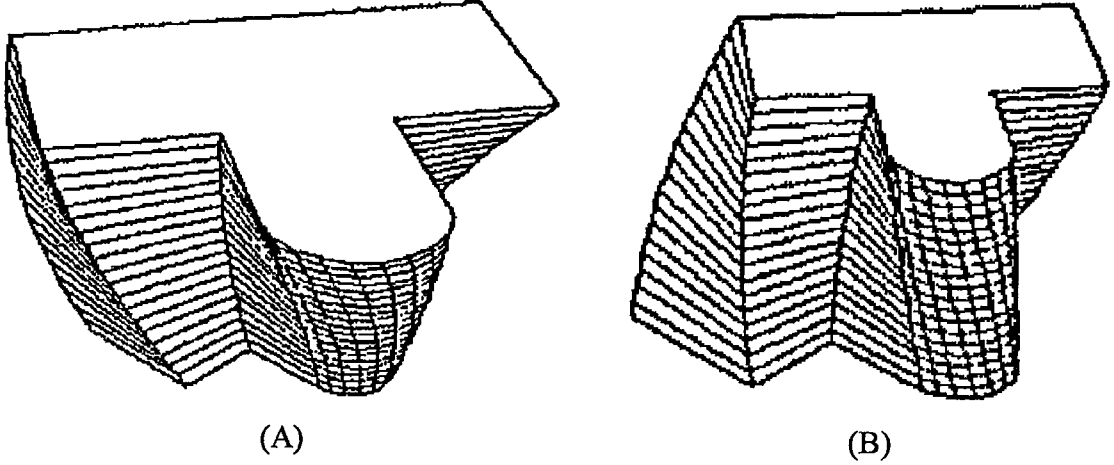


a)Bézier Yaklaşımı



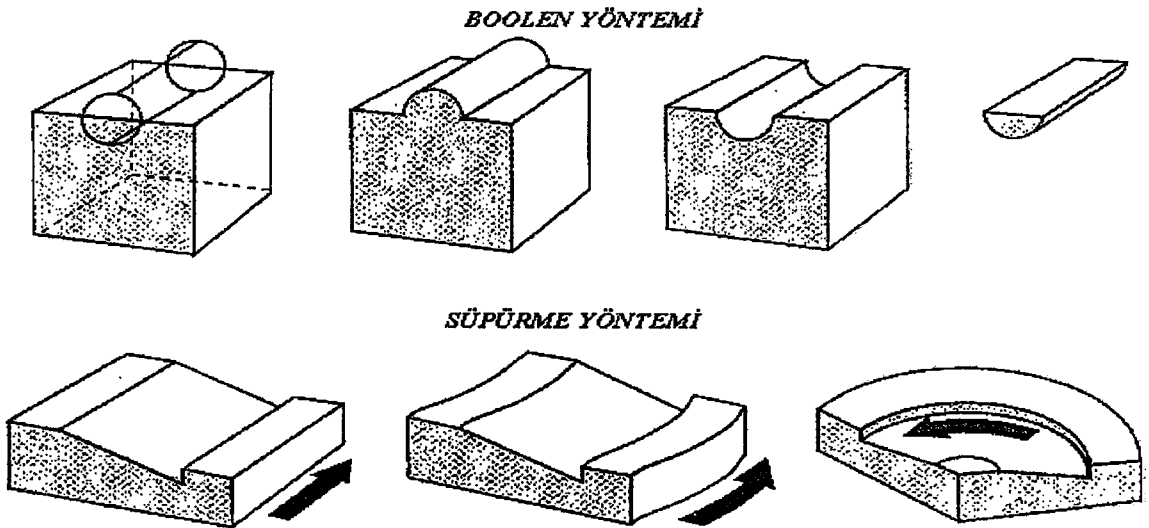
b)NURBS Yaklaşımı

Şekil 2.2. Yüzey Modelleme



Şekil 2.3. Süpürme Yöntemi ile eleman oluşturulması

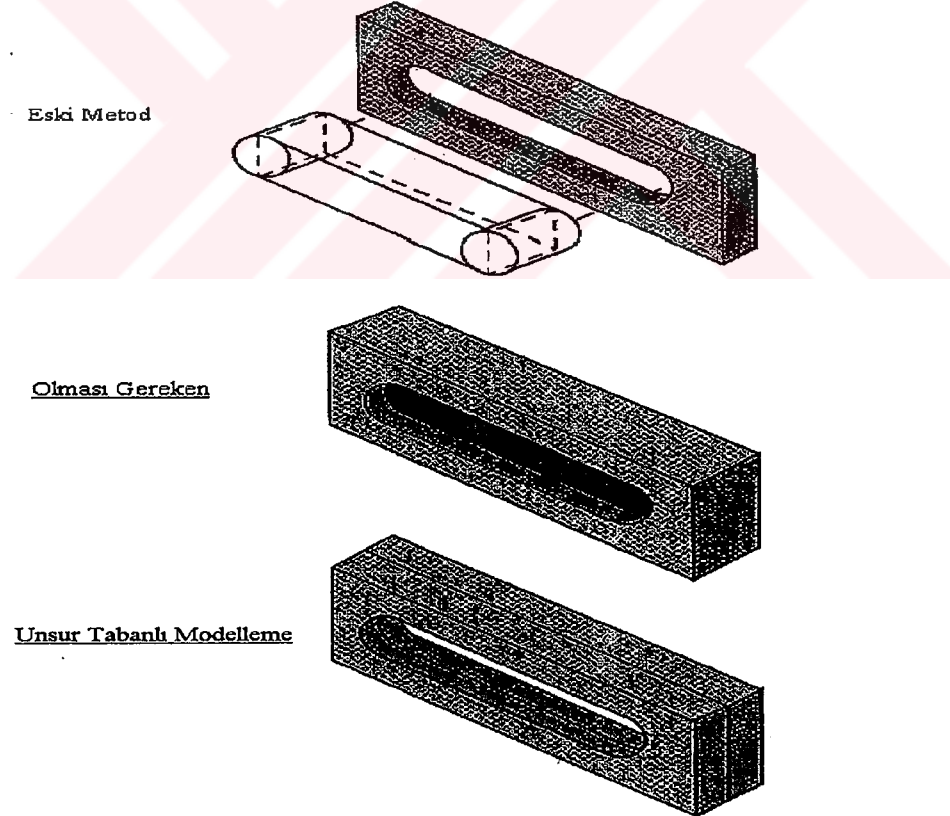
Günümüzde, piyasada bulunan bazı katı modelleme yazılımları modelleme yapılacak parçanın şeklini oluşturmak için yukarıda bahsedilen temel elemanlar veya sınır tanımlama metodlarını kullanmaktadır. Temel elemanlar metodu ile basit şekiller birleştirilmektedir. Boolean metodu ile birleştirme, çıkarma ve kesişme gibi basit komutlar verilerek yeni şekiller oluşturulmaktadır. Sınır tanımlama metodu ile 2-boyutlu yüzeyler uzayda süpürülmekte ve hacim oluşturulmaktadır (Şekil 2.4.). Katı modelleme yazılımları günümüzde varyasyonel, parametrik ve unsur tabanlı elemanların her üçünü de desteklemektedir.



Şekil 2.4. Katı Operatörlerin Temeli

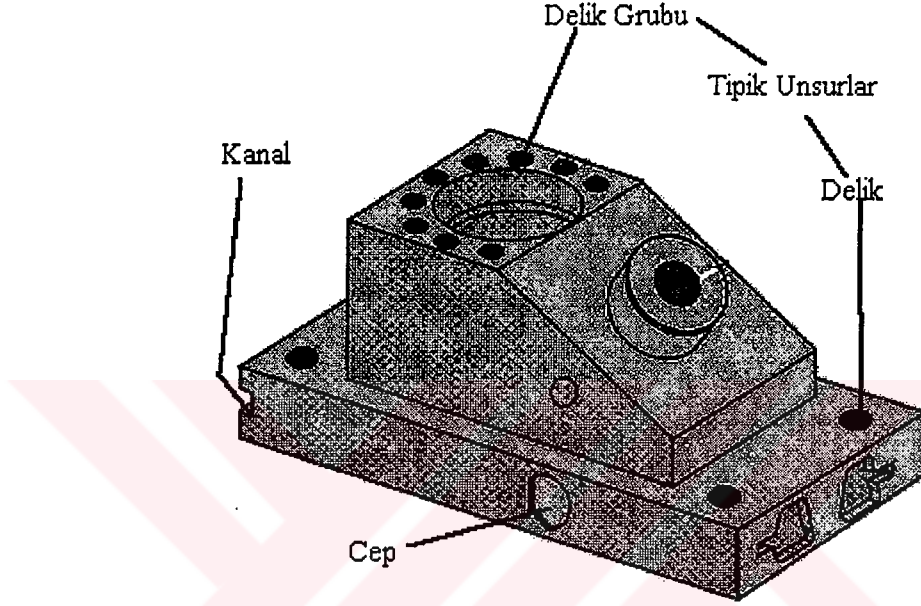
2.2.3.1. Unsur Tabanlı Modelleme

Unsur tabanlı modelleme(UTM), hızla birçok mühendis tarafından tercih edilen katı model oluşturan metod haline gelmektedir. Unsur tabanlı yazılımlarda katı modeller oluk, kabuk, taslak, daire ve bunun gibi geometrik unsurlar ile oluşturulmaktadır. Alternatif tanım olarak; Modellerin küre, silindir ve küp gibi geometrik varlıkların birleştirilmesi ile oluşturulması verilebilir. Unsurların bir avantajı da boyutlarda bir değişiklik olduğunda yeni şeklin doğru olarak kolayca tanımlanmasıdır. Bu özelliğe verilebilecek klasik örnek plakanın üzerine boydan boya açılmış bir deliktir. UTM sisteminde, delik boydan boya plakanın üzerine plaka kalınlığı dikkate alınmadan yerleştirilmiştir. Dolayısıyla, daha sonradan tasarımcı plakanın kalınlığını 10 kat arttırsa bile deliğin özelliğinde bir değişim olmayacak ve yine delik boydan boya olacak, plakanın üzerinde bulunacaktır. UTM tekniğinde en önemli özellik, tasarım boyunca bir olguya verilen özelliklerin saklı kalmasıdır(Şekil 2.5.).



Şekil 2.5. Unsur Tabanlı Modelleme

UTM tekniğinde diğ er bir özellikte olguda tanımlanan referansların montajda bir geometri oluşturmasıdır. Bu şekilde referans oluşturma ileride de ğ iş iklik gerektiğinde sadece bir model üzerinde de ğ iş ikleri yaparak diğ er modellerin bundan etkilenmesini sağlamaktadır(Ş ekil 2.6.)



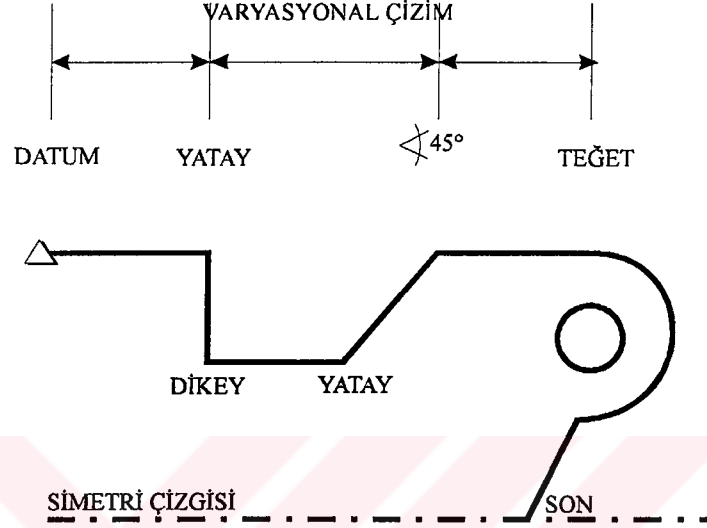
Ş ekil 2.6.Unsur-Tabanlı Modelleme

UTM., unsurların birleştirilmesi ile oluşturulmuş geometrik yapılanmadır. Tasarımcı, unsurların mühendislik terimleri olan delik, oluk gibi tanımlar, daire veya küp gibi geometrik terimleri kullanmaz. Unsurlar, grafiksel olmayan bilgiler halinde de depolanır ve gerektiğinde taslak, nümerik kontrol, sonlu eleman analizi ve kinematik analizde kullanılır.

2.2.3.2.Varyasyonel Taslak Oluşturma

VTO, tasarımda matamatiksel model oluşturmakta ve tasarımcı bir de ğ iş iklik yaptığı nda tüm model tekrar yazılım tarafından hesaplanmaktadır. Bu sebeple, erken tasarım aş amalarında bu şekildeki bir modelleme daha uygundur.

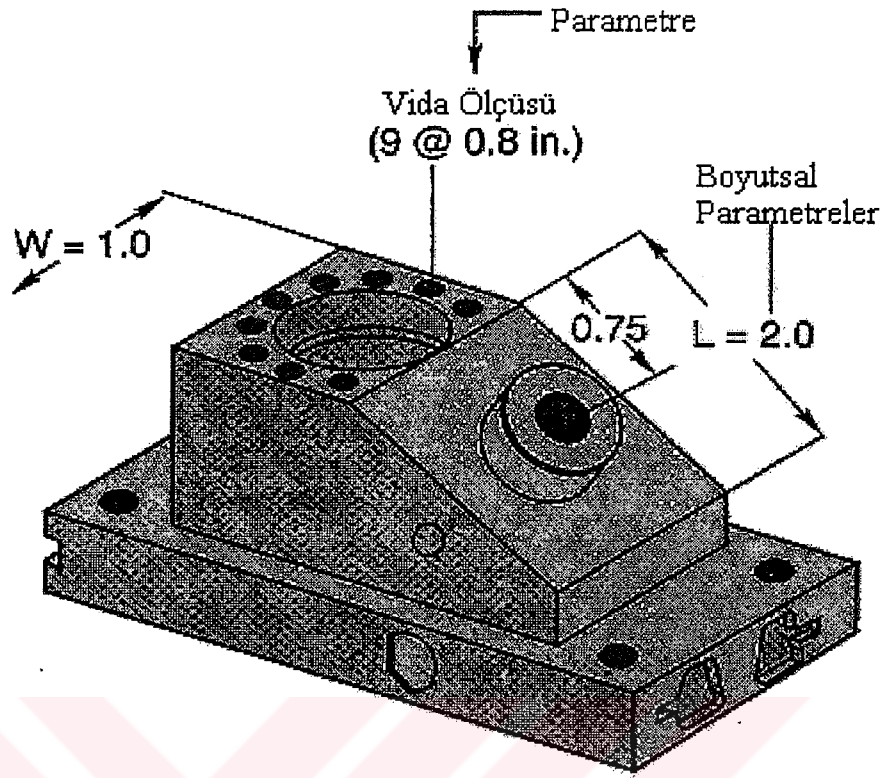
VTO yöntemi tasarımcılara 2-boyutlu profilden 3-boyutlu modele geçiş olanağı sağlar. Burada profiller tipik olarak ekstrüze edilmiş objelerin veya karmaşık kesilecek şekillerin kesitlerini göstermektedir. Tasarımcı son boyutları dikkate almadan tipik parça şeklini oluşturur(Şekil 2.7.).



Şekil 2.7. Varyasyonel Taslak Oluşturma

2.2.3.3. Parametrik Modelleme

Parametrik metod, tasarımda oluşturulan operasyonların sırasına bağlıdır. Yazılım tasarım sırasında yapılan parametrik değişikliklere ait bir dosya oluşturmaktadır. Bu şekilde, ileride boyutlarda değişiklik yapıldığında sistem bu dosyaya giderek bu boyuta referanslanmış tüm operasyonları değiştirmektedir. Örnek olarak bir dairesel olukla aynı merkeze sahip olan vida deliği verilebilir. Eğer oluk hareket ederse vida deliği de hareket eder. Parametreler genellikle boyutsal olarak gösterilir. Tasarımcı boyutları değiştirerek parametreleri kolaylıkla değiştirir. Parametrik modelleme biçimsel değişikliklerin olmadığı sadece boyutsal değişikliklerin olduğu tasarımlarda kullanılır(Şekil 2.8.).



Şekil 2.8. Parametrik Modelleme

önüne alarak uygun bir analiz gerçekleştirmektir. Ne yazık ki günümüzde hiçbir plastik malzeme tek başına bütün özelliklere sahip olamaz, fakat çeşitli plastik malzemelerin birleştirilmesiyle bu özellikler sağlanabilir. Plastikler bunun yanında çelik malzemelerle de birleştirilebilir. Karmaşık geometriye sahip ürünlerin plastik malzemeye göre tasarlanması avantajlıdır.

3.2.TASARIMIN VE MALZEMENİN SECİMİ

Bir mühendisin parça tasarımı ve uygun malzeme seçimini gerçekleştirmesi için aşağıdaki sorulara cevap araması gerekmektedir;

Tasarım Kavramı:

- 1)Parça veya ürünün kullanımına ait istekler nelerdir?(Estetik, yapısal, mekanik)
- 2)Maliyetleri etkileyen kaç tane fonksiyonel madde parçaya tasarlanabilir?
- 3)Değişik parçalar büyük bir parça oluşturacak şekilde birleştirilebilir mi?

Mühendislik:

- 1)Yapısal istekler nelerdir?
- 2)Yükler statik, dinamik veya çevrimsel midir?
- 3)Ne kadar bir saptırmaya izin verilebilir?
- 4)Parça darbe yüklerine maruz kalacak mıdır?
- 5)Montaj ve kullanım için ne kadar toleransa gerek vardır?
- 6)Parça ne tür bir çevrede çalışacaktır?
- 7)Parça hangi sıcaklıklarda çalışacaktır?
- 8)Parça kimyasal olarak neye maruz kalacaktır?
- 9)Ürünün tahmini ömrü ne olacaktır?
- 10)Ürünün montajı nasıl yapılacaktır?
- 11)Parçada ne tür bir son işlem uygulanacaktır?
- 12)Bazı standartlara(UL, DOT, MIL) göre mi imalat gerçekleştirilecektir?

13)Tasarımı yapılan ürün ekonomik olarak enjekte edilecek ve son işlem uygulanacak mıdır?

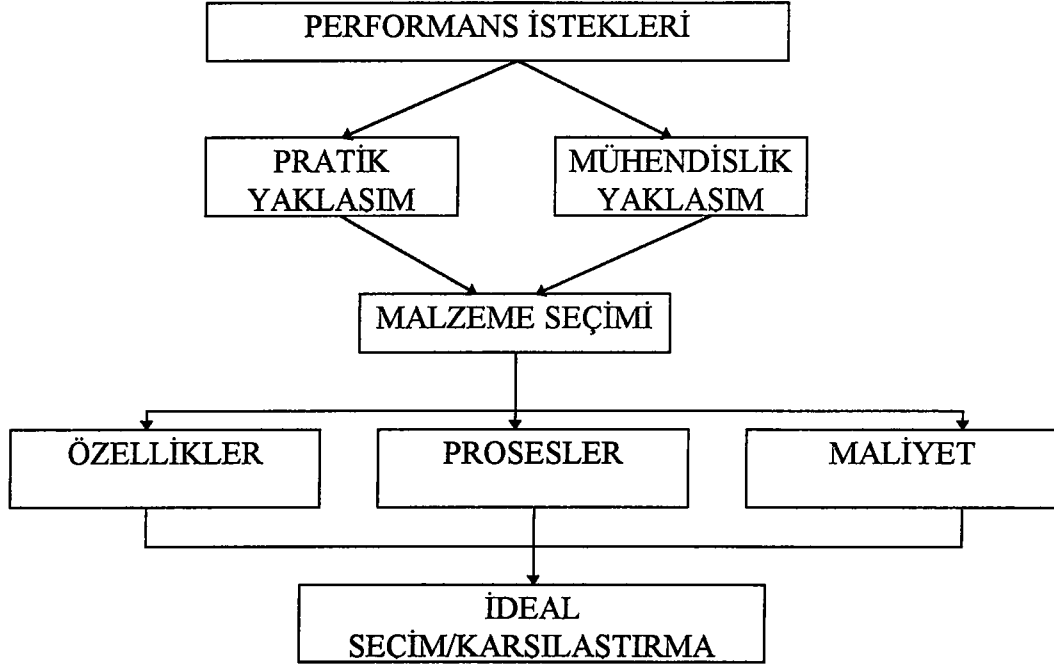
Yukarıda belirtilen sorulara cevap bulunduğunda, bir sonraki basamak olan malzeme seçimi gerçekleştirilir.Uygun malzemeyi tespit ettikten sonra parça geometrisine ve et kalınlığına ait hesaplamalar yapılır, daha sonra da tasarım gerçekleştirilebilir.Plastik enjeksiyon için parça tasarımında aşağıdaki sorulara cevap aranmalıdır;

- 1)Kalıba ait parçalar imal ve plastik parça enjekte edilebilecek mi?
- 2)Parçaya verilen et kalınlığı parçanın tamamen doldurulması için gerekli olan plastik malzeme akışı için yeterli mi?
- 3)İç köşelerin hepsine yüksek gerginlikleri azaltacak şekilde radyüs verildi mi?
- 4)Parça üzerinde et kalınlığı değişimi düzgün mü?
- 5)Kaburga veya kabartma kalınlığının bunlara bağlantılı et-kalınlıklarına oranı uygun mu?
- 6)Kalın kesitlerden plastik enjekte edip daha ince kesitlere akış sağlamak mümkün mü?
- 7)Birleşme noktaları görünüm ve mukavemet problemleri ortaya çıkarır mı?
- 8)Bütün yüzeylere uygun bir kalıptan çıkarma açısı ilave edildi mi?
- 9)Bütün parça için uygun olarak görülmüş bir tolerans belirlendi mi?

Eğer parçada ihtiyaç duyulanları uygun olarak belirlersek, uygun malzemeyi seçersek tasarımı bu malzeme için optimize edersek ve son olarakta uygun üretim yöntemlerini dikkatlice belirlersek, bütün bunların sonunda çalışan bir parçaya sahip olma yolundayız diyebiliriz.

3.3. TASARIM PARAMETRELERİ

Plastik malzemeler tasarımcı tarafından bilinmesi gereken büyük miktarda üretim değişkenlerine sahiptirler.Bunun yanında, plastik malzemelerin herbiri diğerinden farklı spektrum özelliğine sahiptir ve bu yüzden de tasarımın en başlarında malzemeye karar verilmesi gerekir.Şekil 3.2’de basitçe bir tasarım programındaki akış gösterilmiştir.



Şekil 3.2 -Tasarım programı Akış planı.

3.3.1.Pratik Mühendislik Yaklaşımı

Birçok plastik ürünün statik ve dinamik yükler olmadan mekanik yüklerle dayanması beklenmektedir.

3.3.2.Geliştirilmiş Mühendislik Yaklaşımı

1940 yılından beri kullanılan birçok plastik ürünü kullanım aşamasında uzun süreli olarak statik ve dinamik yüklerle çevresel şartlardaki değişiklik ile beraber maruz kalmaktadır.Bu sebeple, tasarımcı uzun süreli yüklerde oluşabilecek yorulma, uzama, sıcaklık, zaman bilgilerini de dikkate alarak tasarımı gerçekleştirmelidir.

3.4.PLASTİK TIPLERİ

Plastikler tıpkı diğer malzemeler gibi değişik özellikler göstermektedir.Plastikler terminolojide birçok isme sahiptirler, bunlardan bazıları; Polimerler, reçineler, kuvvetlendirilmiş plastikler ve kompozitlerdir.Bunun yanında, plastik malzemeler bazı ortak özelliklere de sahiptirler.Bunlar belli aşamalarda plastiklerdir(Akış olarak)-yani yumuşak ve esnektirler, sıcaklık, basınç veya her ikisinde uygulanmasıyla arzu edilen biçimde şekillendirilebilirler.

3.5.PERFORMANSI ETKİLEYEN TASARIM ÖZELLİKLERİ

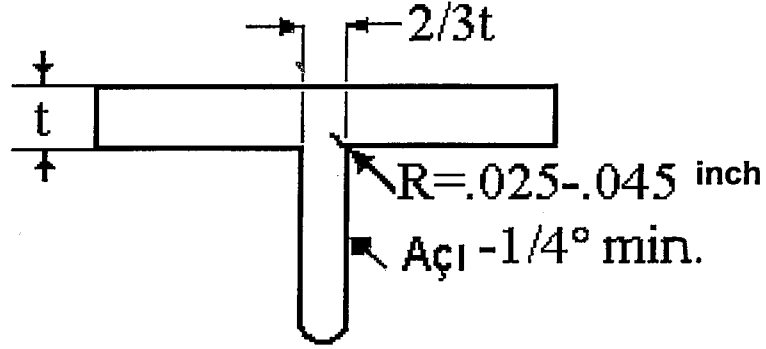
3.5.1.Ürün Tasarım Noktaları

Ürün teknik resmi, daha sonra kalıp tasarımında ele alınacak birçok ayrıntı hakkında bilgi vermez.Bazı özellikler enjekte edilecek ürünün mukavemetini ve kalitesini ters etkileyebilirler.Çoğu zaman problem yaratan bu ayrıntılar, ürün üzerindeki ters etkileri azaltmak için tasarımcı tarafından düzeltilebilir.

Aşağıda, problemleri kabul edilebilir sınırlar dahilinde azaltacak özet bilgiler verilmiştir;

- 1)İç köşeler gerilme yoğunluğuna sahip bölgelerdir.Parçanın köşe radyüsü ne kadar az olursa kırılma o kadar fazla olur.Tasarımcı mukavemetin önemli olmadığı yerlerde keskin köşeye izin vermelidir.
- 2)Parçanın et kalınlığındaki büyük değişim enjeksiyon esnasında problemlere sebep olur.Ürün üzerindeki sabit et kalınlığı iyi mukavemete ve görünüme neden olur.Kalın ve ince kesitler değişik oranlarda çekme değerlerine, mukavemetlere ve büyük olasılıkla da kalın kesitlerde hata oluşumuna sebep olacaktır.Plastik malzeme enjeksiyonu sonrasında malzeme sertleşmesi dış yüzeyden iç yüzeye doğru olduğundan çökmeler kalın kesitli bölge yüzeyinde olmaya çalışacaktır.Eğer parça üzerinde kalın ve ince kesitlerin olması kaçınılmaz ise geçiş kademeli olmalıdır.

3)Çökmeler sadece yukarıda bahsedilen nedenlerden dolayı meydana gelmez, aynı zamanda ürünün temel et kalınlığını değiştirmeden fonksiyonel hizmet sağlayan destek veya sağlamlaştırıcı kaburgaların, flanşların veya benzer unsurların kullanılmasıyla da oluşurlar. Yüzeydeki çökmelerin görünüşü mahsurlu ise kaburgalar ile geçiş radyüsleri birbirleri ile orantılanır ve böylece çökmelerin oluşumu en aza indirgenir.Şekil 3.3'de kaburgaların boyutlandırılması verilmiştir.



Şekil 3.3. Kaburga ve Et-kalınlığı arasındaki ilişki

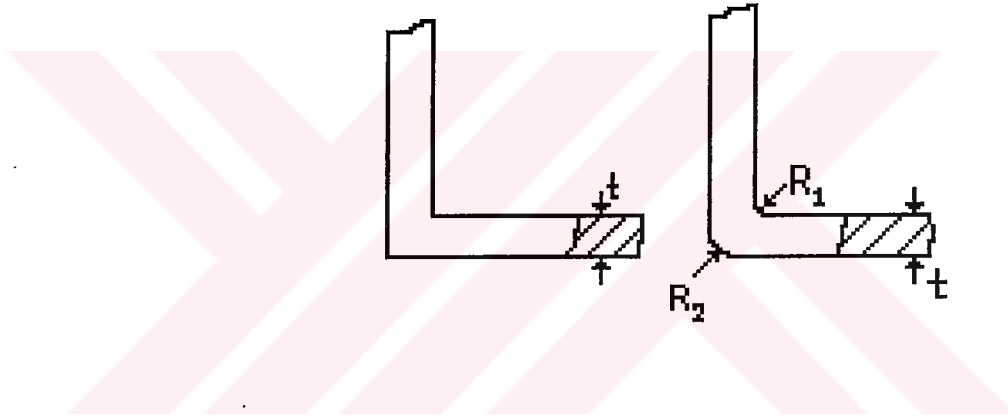
4)Plastiklerin birçoğu diğer malzemelerin birleştirilmesi ile kullanılır.Ürünün kullanım ortamındaki sıcaklık oda sıcaklığından farklı ise malzemelerin termal genleşme katsayılarını göze alarak problem oluşumunu telafi edecek ilave basamaklar ele alınmalıdır.Birçok plastik malzeme çelik malzemelerin 10 katı daha fazla genleşir.Otomotiv endüstrisinde, uzun plastik parçalar metal çerçevelerin ilavesiyle kullanılmaktadır. Uygun bir tasarım ele alınmaz ise malzemelerin farklı genleşme katsayılarından dolayı burkulma, gevşeklik oluşabilir , buda kötü görünüme ve gürültüye neden olur.

5)Plastik dişler çok sınırlı mukavemete sahiptirler ve diş formu uygun şekillenmemişse sık kullanımda aşınırlar.V-şekilli dişi vida dişinin diş kısmında kalan bölgeler keskin iç köşe oluşturacak ve gerilme yoğunlaştırıcı gibi hareket ederek vida dişi kesit alanında mukavemeti düşürecektir.Yuvarlatılmış vida dişi şekilleri V-şekilli dişlere nazaran mukavemeti arttırlar.

Burada bahsedilen olası enjeksiyon hataları ürün resminde belirtilmeli ve ürün tasarımcısına düzeltici işlemlerin belirlenmesi için açıklanmalıdır .

3.5.2.Keskin Köşeler

Ürün teknik resiminde radyüs belirtilmediği zaman imalatçı birleşme noktaları ve taşlanmış yüzeyleri işlendiği gibi bırakır.Sonuç olarak enjekte edilmiş parçada keskin köşeler oluşur.Parçanın iç kısımlarındaki bu keskin köşeler ürünün mekanik özelliklerini düşürücü etki gösterirler.Gerilme yoğunluk faktörü R/T oranı (R:Radyus, T:Parça et kalınlığı) azaldıkça artar.Uygun R/T oranı 0.6'dır ve bu değer arttıkça üründe fayda sağlanır.Şekil 3.4'de gerilme yoğunluk faktörünün parça üzerinde düşürülmesi için kullanılan yöntem gösterilmiştir.



Şekil 3.4. İç Köşeler

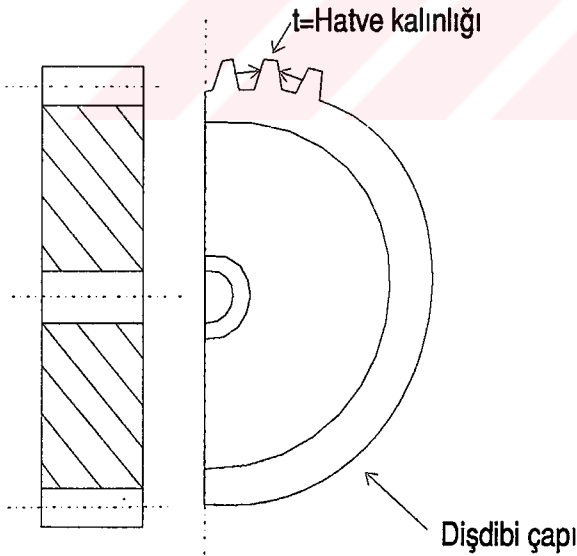
Tavsiye edilen radyüs sadece kırılma etkisini azaltmaz, aynı zamanda enjeksiyon sırasında erimiş plastik malzemenin aerodinamik akışını sağlar.Kalıpta bulunan köşelerin yuvarlatılması aynı zamanda kullanımdan dolayı oluşabilecek kırılmaları azaltır ve böylece kalıp tamir işlemlerinde en aza indirger.Radyüsün aşırı olarak fazla verilmesi de zararlıdır, çünkü malzeme israfı olur, çökme noktalarına sebep olur ve et kalınlığındaki aşırı artıştan dolayı da parçada gerginliğe yol açabilir.

3.5.3.Değişmeyen Et Kalınlığı

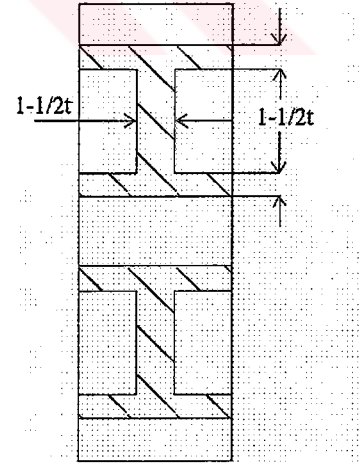
Malzemenin et kalınlığı diğer komponentlerden dolayı ihtiyaç duyulacak yüklere, desteklere, kabartmalara ve diğer çıkıntılara göre belirlenir.

Parçayı bütün bu ihtiyaçları karşılayacak şekilde değişmeyen et kalınlığında tasarlamak dayanıklılığa yarar sağlayacaktır.Değişmeyen et kalınlığı parça üzerindeki gerilmeleri, çekmelerdeki farklılığı,olası hataları ve yüzeylerde oluşacak çökmeleri en aza indirgeyecek ve aynı zamanda malzeme kullanımını azaltacak, imalatı ekonomik hale getirecektir.

Kalın kesitlere ihtiyaç duyulan birçok ürünün kesit alanları eşdeğer mukavemet, katılık ve performans sağlayacak biçimde şekillendirilebilir.Şekil 3.5’de metal çubuktan imal edilmiş ufak bir dişli gösterilmiştir.Aynı dişli plastik malzemedен enjekte edilecek şekilde Şekil 3.6’daki gibi tasarlanır.Bu şekildeki plastik dişli tasarımında malzeme israfı azaltılır, et kalınlığındaki ince ve kalın kesitlerin oluşumundan meydana gelecek gerginlikler ortadan kaldırılır, dişlerde ve dişlinin geri kalan kısımlarında değişmeyen çekme sağlanır, çökmelerin oluşumu önlenir.

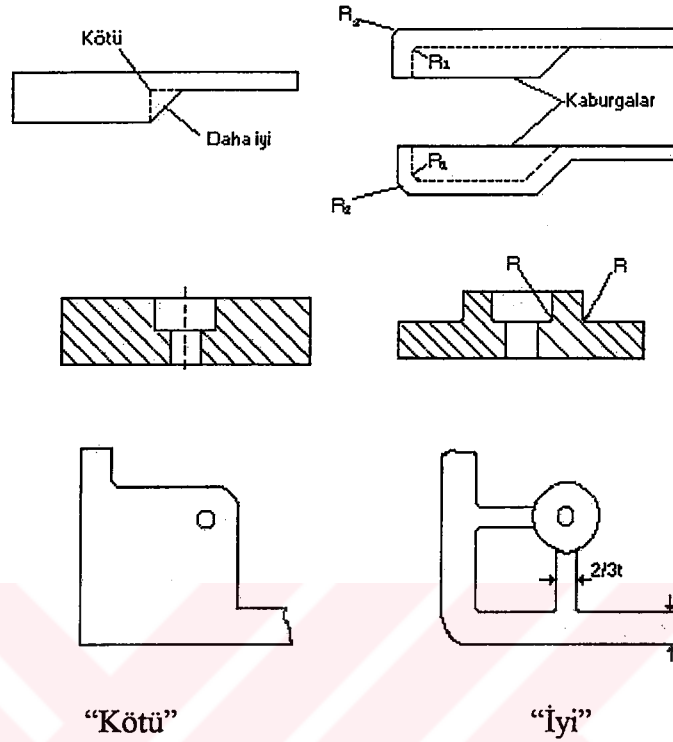


Şekil 3.5 -Katı çelik dişli



Şekil 3.6 -Şekil 3.5’deki dişlinin plastik tasarımı

Şekil 3.7’de iyi ve kötü tasarlanmış kesitler gösterilmiştir.



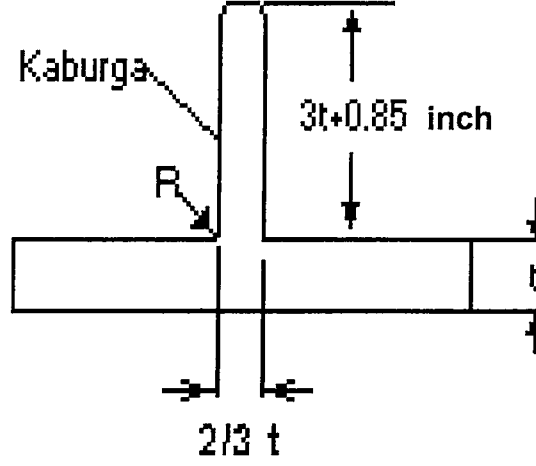
Şekil 3.7 - “Kötü” ve “İyi” tasarım özellikleri

3.5.4.Kaburgalar

Tasarımda kaburga kullanımı değişmeyen et kalınlığı yaratmak için tavsiye edilen bir yöntemdir.Kaburgalar, aynı zamanda, hesaplamaların tavsiye edilen et kalınlığının üzerinde olduğunu gösterdiği yerlerde yük kapasitesini artırmak amacıyla kullanılırlar.Kaburgalar boşluk yaratmak ve destek sağlamak için ürün üzerinde çoğu zaman gereklidir.

Kaburgaları tasarlamada ilk adım boyutsal sınırları belirlemektir.Daha sonra ekonomik olarak imal edilecek , iyi mukavemet sağlayacak ve yeterli görünüşte olacak şekilde tasarım şekli oluşturulur.Şekil 3.8 kaburga-et kalınlığı arasındaki boyutsal oranları göstermektedir.Bu şekildeki bir tasarım ürün üzerinde hataları(çökmeler), gerginlikleri ve

çekme değerlerindeki değişikliği en aza indirgeyecek ve problemsiz bir enjeksiyon sağlayacaktır.

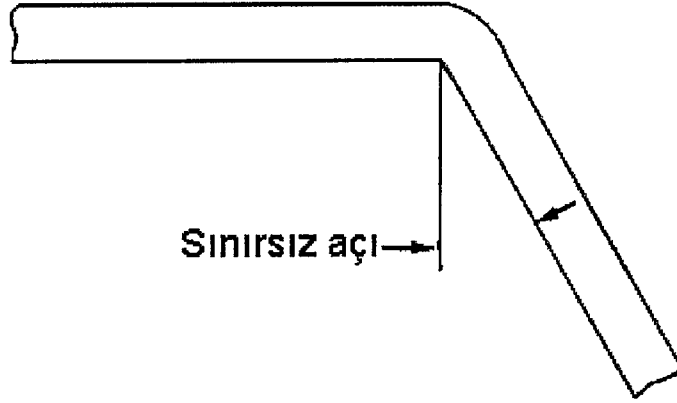


Şekil 3.8 -Kaburganın parça et kalınlığına oranı

Performans hesaplamaları et kalınlığını tavsiye edilen değerin çok üzerinde gösterir ise parçada eşit kesit alan olacak şekilde kaburga kullanılmalıdır. Fazla et kalınlığı enjeksiyon sırasında ısıl iletkenliğin düşük olmasına sebep olur, dolayısıyla sıcaklık değişimleri oluşur ve ürün özelliklerinde düşüş meydana gelir, sonuçta da ürün üzerinde gerginlikler oluşur. Et kalınlığının fazla olmasıyla enjeksiyon işlemi uzun sürer, bu da parça üzerinde gerginlik bırakır, dar toleranslarda parça imalatı zorlaşır, malzeme israfı ve dolayısıyla ürün maliyeti artar.

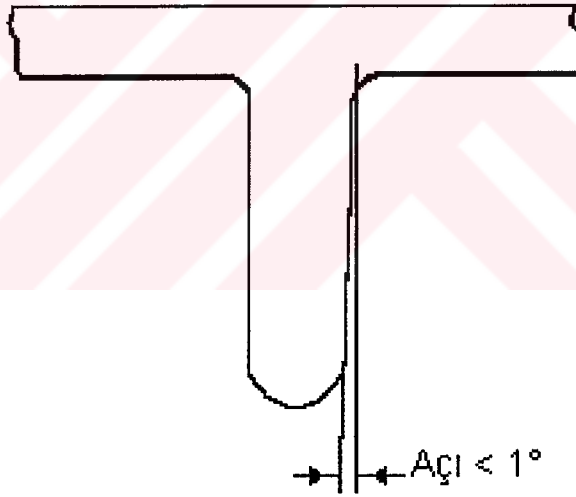
3.5.5. Yüzey Açıları

Enjekte edilecek parçaların yatay yüzeylerine kalıptan kolayca çıkmalarını sağlayacak şekilde açı vermek gereklidir. Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da iki temel açı verme yöntemi verilmiştir. Şekil 3.9 en çok kullanılan açı verme yöntemidir, yüzeye verilecek açı $1/8^\circ$ 'den tasarımda izin verilecek şekilde daha fazla olabilir. Parça dış yüzeyine $1/8^\circ$ gibi düşük açı verilirse kalıptan çıkarma işlemi biraz daha zor olur.



Şekil 3.9. Dış kenarların açlandırılması

Şekil 3.10'daki diğer örnekte ayırma amaçlı kullanılan tabana dik iç yatay yüzey verilmiştir. Burada yüzey açısı düşük tutulmuş böylece malzeme kullanımı azalmış, tabana yakın bölgelerde hataların oluşumu engellenmiş ve enjeksiyon işleminin süresi de en aza indirgenmiştir.



Şekil 3.10. İç kenarların açlandırılması

3.5.6. Birleşme Noktaları

Delik içeren enjeksiyonu yapılacak ürünlerde problemler oluşur. Plastik kalıba enjekte edilmesi ve boşluğu doldurması esnasında akan plastik deliği oluşturacak erkek

maçayla engellenir , plastik akışı parçalanarak maçıyı kuşatır, daha sonra tekrar birleşerek yoluna devam eder ve sonunda boşluğu doldurur. Parçalanan akışın tekrar birleşmesi sonucunda ürün üzerinde birleşme noktaları meydana gelir, bunun sonucunda da birleşme noktalarında diğer bölgelere nazaran mukavemet azalması oluşur. Mukavemet azalmasının nedeni akan malzemenin geçtiği yerlerden havayı, nemi ve yağlayıcı malzemeleri süpürmesi ve yabancı maddeleri birleşme yüzeyine taşımıştır. Yatak yüklerine maruz kalacak yüzeylerde birleşme noktaları olmamalıdır, eğer birleşme noktaları kaçınılmaz ise bu durumda izin verilen çalışma gerginliği %15 azaltılmalıdır.

3.5.7.Meme Boyutu ve Yerleşimi

Yüksek ergime basıncından dolayı memede meydana gelen ısı oluşumu ve yüksek hızdaki malzeme akışı memeye yakın bölgelerde gerginliğe neden olur. Küçük boyutlardaki meme, parçayı ayırmak için arzu edilir, fakat düşük gerginliğin arandığı ürünlerde arzu edilmez. Meme boyutları genelde parça kalınlığının 2/3'ü kadardır. Eğer memeyi böyle veya daha büyük boyutta tasarlırsak; sürtünmeden dolayı oluşacak ısı oluşumu azalacak, daha düşük hızda malzeme akışı sağlanacak ve daha yüksek basınçlarda yoğun olarak kalıp boşluğuna malzeme enjekte edilecektir. Ürün tasarımcısı, kalıp imalatçısını memenin yerini yatak yüklerine maruz kalacak bölgelerin uzağına yerleştirecek şekilde uyarmalıdır.

3.5.8.Et Kalınlığı Toleransı

Derin parçalar tasarlandığında, et kalınlığında genelde +/- 0.127 mm tolerans uygulanır. Bu toleransın anlamı; ürün bu ölçüler içinde imal edildiği takdirde kabul edilebilir demektir fakat bunun yanında et kalınlığı ürün üzerinde değişmez olmalıdır.

Enjeksiyon işlemi analiz edildiği zaman görülmüştürki, ilk olarak et kalınlığının fazla olduğu bölgeler memeden gelen plastik malzemeyle doldurulmakta ve daha sonrada ince kısımlar kalın kısımdan taşan malzemeyle dolmaktadır. Bu sebeple ince kısımlarda

hava ve gas sıkışmaları olmakta ısı bu bölgelerde artmaktadır, sonuç olarakta malzemede kömürleşmeler meydana gelmektedir.

Kömürleşen malzeme gözenekli bölgeler oluşturur ve dayanımı azaltır. Buradan şu sonuca varabiliriz; Ürün üzerinde et kalınlığının değışim toleransı daha dar limitlerde tutulmalı (± 0.050 mm) , genelde üründe aranacak tolerans ise ± 0.125 mm olmalıdır.



4.PLASTİK ENJEKSİYON KALIP TASARIMI

4.1.TEMEL NOKTALAR

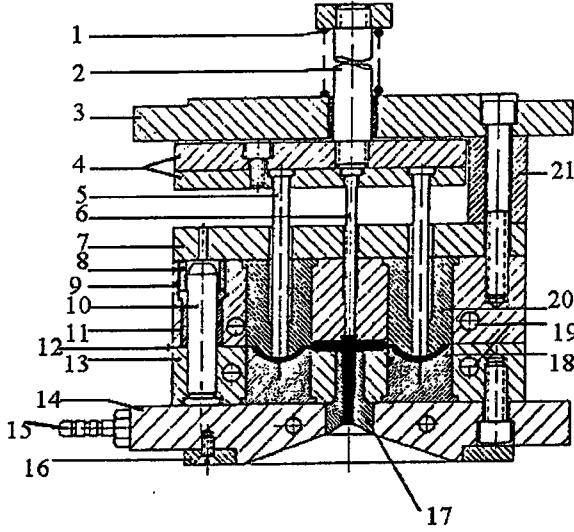
Plastik enjeksiyon kalıbının iki fonksiyonu vardır; Arzu edilen şekli plastik polimer malzemeye vermek ve enjekte edilmiş parçanın soğumasını sağlamaktır. Kalıplar temel olarak iki parçadan oluşur:(1) oyuklar ve göbekler (2) oyukların ve göbeklerin monte edildiği taban plaka.Şekil 4.1ve Tablo 4.1'de tipik olarak enjeksiyon kalıbının parçaları gösterilmiş ve anlatılmıştır.

Tablo 4.1. Enjeksiyon kalıbının fonksiyonları

| KALIP PARÇALARI | SAĞLADIĞI FONKSİYON |
|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Kalıp Tabanı | Makinanın nozuluna göre oyukları sabit, doğru pozisyonda tutar. |
| Merkezleyici Pimler | Kalıbın iki yarısını uygun hizada tutar. |
| Besleme Kanalı Burcu (Geçit) | Polimerin kalıbın içerisine girmesini sağlar |
| Yolluklar | Ergimiş plastiği besleme kanalından oyuklara taşır. |
| Memeler | Akışın oyuklara girmesini kontrol eder. |
| Oyuk(dişi) ve Göbek(erkek) | Enjeksiyonu yapılacak ürünün boyutunu, şeklini ve yüzey dokusunu kontrol eder. |
| Su Kanalları | Kalıp yüzeyinin sıcaklığını kontrol eder ve plastiğin katı duruma dönüşmesini sağlar. |
| Maça | Delik, kanal, diş oluşumunu sağlar |
| Hava Kanalları | Sıkışmış gas ve havanın dışarı çıkmasını sağlar. |
| İtici Mekanizması (Pimler, bıçaklar, ayırıcı plakalar) | Sertleşmiş ürünü oyuktan veya çıkıntıdan iterek çıkartır. |
| Dönüş Pimleri | Kalıp bir sonraki döngü için kapanırken itici pimlerin geriye dönmelerini sağlar. |

Bir veya daha fazla oyuk içeren kalıp temel olarak : Plastik malzemenin enjekte edileceği kısımda bulunan sabit yarısı , makinanın kapama veya itici kısmında bulunan diğer hareketli yarısı olmak üzere iki parçadan oluşur. Bu iki kısmın ayrıldığı yere

ayrılma yüzeyi denir. Bazı durumlarda oyuğun bir yarısı hareketli kısımda diğer yarısında hareketsiz kısımdadır.



1.Sıkıştırma yayı, 2.İtici vida, 3.Hareketli kapama plakası, 4.İtici ve itici tutan plakalar, 5.İtici mil, 6.Merkezi besleme kanalı iticisi, 7.Destek plakası, 8.Burç, 9.Oyuk tutucu plaka, 10.Merkezleyici pimler, 11. Omuz burcu, 12.Kalıp birleşme yüzeyi, 13. Oyuk tutucu plaka, 14.Sabit kapama plakası, 15.Soğutma kanalı tapası, 16.Yerleştirme yüzüğü, 17.Besleme kanalı burcu, 18.Oyuk saplaması, 19.Soğutma kanalı, 20.Oyuk saplaması, 21.Destekleyici sütun

Şekil 4.1.a. Enjeksiyon Kalıbı parçalarının gösterimi

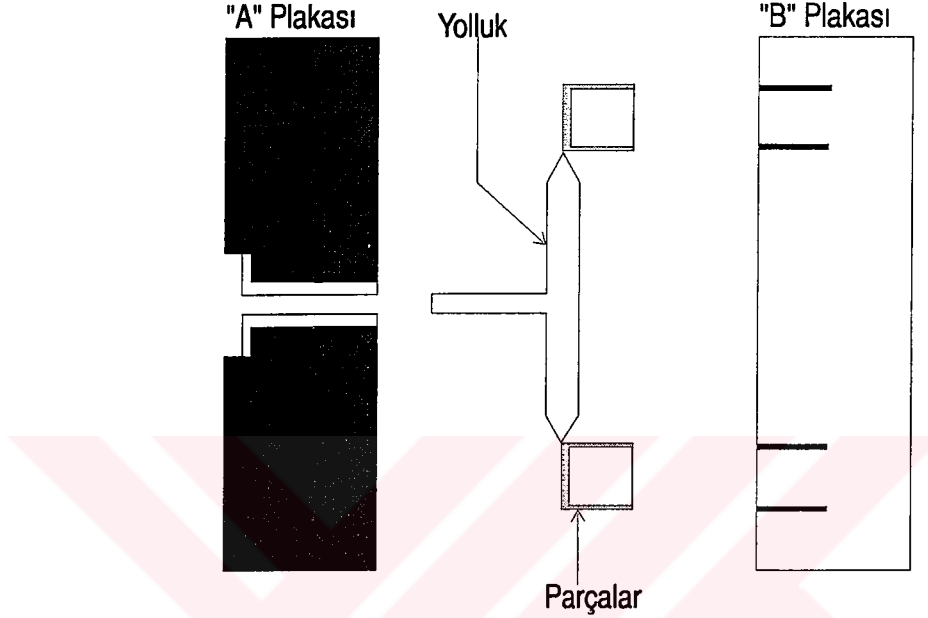
Enjeksiyon işleminde genel olarak; Kapama, enjeksiyon ve tahliye kuvvetlerini güvenli bir şekilde karşılayacak kalıp tasarlamak çok önemlidir.İlave olarak, enjeksiyon işlemi sonrasında her defasında değişmeyen kalitede parça elde etmek için plastik malzemenin akış parametreleri yeterli şekilde belirlenmelidir.Son olarakta, ürünü kalıptan çıkarmadan önce plastiğin kontrollü sertleşmesini sağlayacak şekilde kalıpta etkin ısı transferini gerçekleştirecek yöntemler belirlenmelidir.

Kalıp tasarımcısı plastik enjeksiyon proses bilgileri hakkında yeterince bilgili olmalı ve bu bilgileri tamamiyle tasarıma uygulamalıdır.

Plastik enjeksiyon kalıbı merkezi besleme kanalı olarak adlandırılan geçitten doldurulur.Geçit burcuna yerleştirilen besleme kanalına ayırıcı özelliğini sağlaması için koniklik yerilir. Tek oyuklu kalıplarda besleme kanalı direk olarak polimer malzemeyi kalıp oyuğuna gönderir, çok oyuklu kalıplarda ise besleme kanalı ergimiş polimeri yolluk sistemine oradan da herbir oyuğu dolduracak şekilde memeye gönderir.

Yerleştirme yüzüğü, besleme kanalı burcunu sarar ve kalıbın makinanın enjeksiyon nozulu ile aynı merkezde olmasını sağlar.Yüksüğün geçirileceği yer -0.000 ve

+ 0.050 mm toleransta imal edilir.Yüksük yerleştirileceği yerden 0.250mm daha ufak imal edilir ve dolayısıyla herbir tarafta 0.125mm boşluk sağlanır.Bu değerden fazla miktarda elde edilen boşluk yanlış yerleştirmeye sebep olur ve besleme kanalı makinaya istendiği gibi merkezlenemez.Besleme kanalı burcunun yerleştirme yüksüğüne bakan kısmına makinanın nozuluyla uyum sağlaması için 12.7 veya 19 mm küresel radyus verilir.



Şekil 4.1.b.Plastik Enjeksiyon Kalıbı

Ayrılma yüzeyi A ve B plakalarının birleşmesi ile oluşur.A plakası oyğun bir kısmını kapsar ve merkezleyici pimlere operasyon sırasında oyukları aynı hizada tutacak şekilde destek sağlar.Bu pimler kalıbın sabit yarısına parçanın tahliyesi sırasında zarar görmesini engellemek amacıyla yerleştirilir.

Bütün kalıp plakaları (itici parçaların dışındaki) ve boşluk blokları +/- 0.025mm kalınlık toleransında taşlanmalıdır.

Herbir kalıp yarısı sıcak plastiğin enjekte edilmesi sırasında oluşan ısıyı dışarıya taşıyacak şekilde soğutma kanalına sahip olmalıdır.Termoset malzeme enjekte edilecekse kalıpta ısıtıcılar kullanılmalıdır.

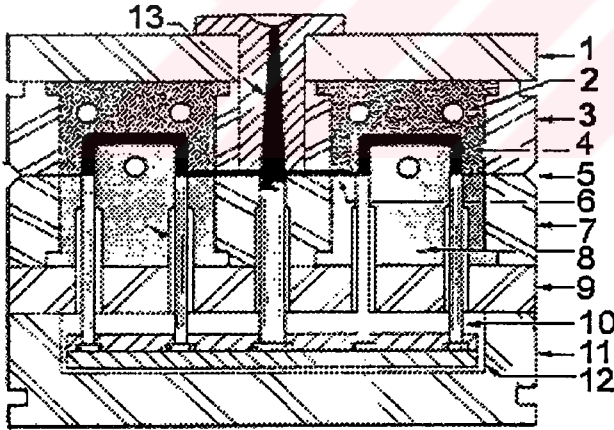
Kalıp açıldığında enjekte edilmiş ürün ve besleme kanalı kalıbın hareketli tarafında kalır ;daha sonra merkezi itici harekete geçer ve itici pimlerin parçayı ileriye doğru itmesini sağlar böylece parça kalıptan alınmış olur.İtici pimlerin çalışması esnasında parça

üzerinde çok hafif parlak yerler oluşur bu sebeple ürün tasarımcısı itici pimlerin yerleşimini parlak noktaların kabul edilebilir olduğu yüzeylere yapmalıdır.

4.2. KALIP TIPLERİ

Günümüzde altı temel enjeksiyon kalıp tipi kullanılmaktadır. Bunlar: (1) iki plakalı soğuk-yolluklu kalıp; (2) üç plakalı soğuk-yolluklu kalıp; (3) sıcak yolluklu kalıp; (4) izole edilmiş sıcak yolluklu kalıp; (5) sıcak-manifoltlu kalıp ve son olarak (6) istiflenmiş kalıp olarak adlandırılırlar. Şekil 4.2., Şekil 4.3. ve Şekil 4.4'te (1), (2) ve (3)'e örnekler vermiştir.

İki plakalı kalıp oyuk ve göbeğin bulunduğu iki plakadan oluşur. Plakalar enjeksiyon makinasının plakalarına monte edilir ve kalıbın hareketli yarısı genellikle itici mekanizması ve yolluk sistemlerini içerir. İki plakalı kalıplar büyük meme gereken parçalarda kullanılan en uygun tiptir. Bu şekildeki soğuk yolluk sistemi ile malzemenin oyukla beraber besleme kanalı, yolluklar ve memelerde de katılması sağlanır.

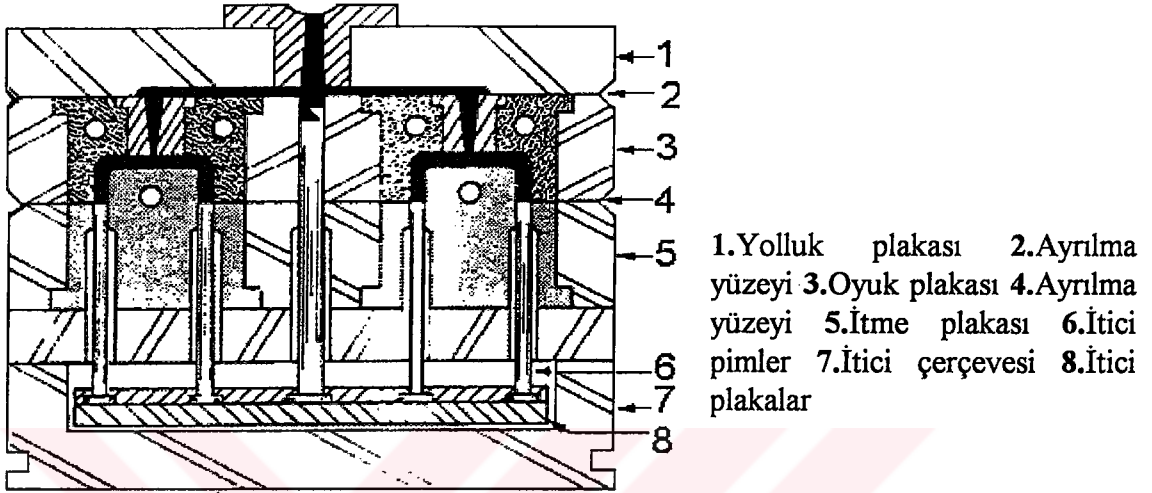


- | | | |
|----------------------|------------------------|-------------------|
| 1.Üst kapama plakası | 2.Su soğutma kanalları | 3.Oyuk Plakası |
| 4.Oyuk ve Ürün | 5.Ayrılma yüzeyi | 6.Yolluk |
| 7.İtme plakası | 8.İtme | 9.Destek plakası |
| 10.İtici pimler | 11.İtici çerçevesi | 12.İtici plakalar |
| | | 13.Besleme kanalı |

Şekil 4.2. İki-Plakalı enjeksiyon kalıbı

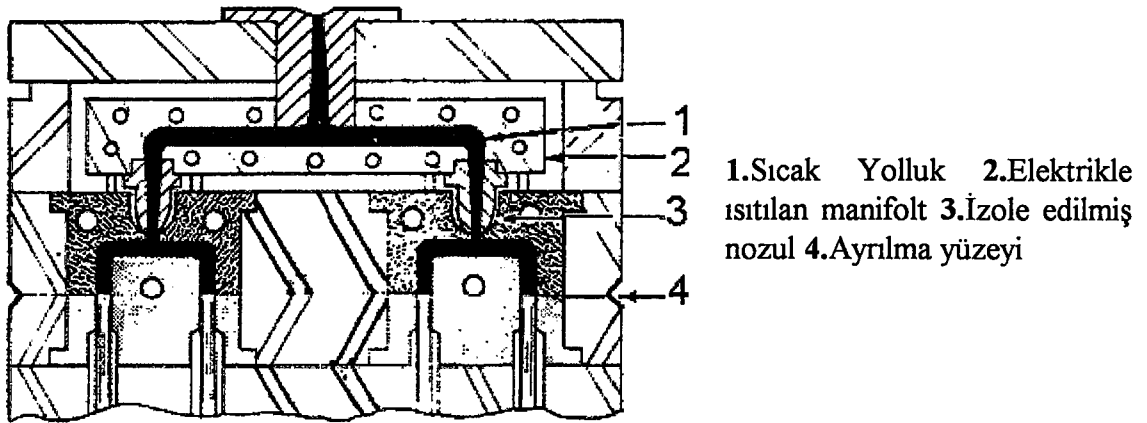
Üç plakalı kalıp şu plakalardan oluşur: (1) Genellikle besleme kanalı ve yolluğun yarısını içeren ve makinanın hareketsiz plakasına bağlanan sabit veya yolluk plakası; (2) Kalıp açıldığında hareket eden ve yolluğun diğer yarısı ile memeyi içeren orta veya oyuk

plakası; (3) Parçanın kalıptan çıkmasını sağlayan itici sistemi ve enjekte edilmiş parçayı içeren hareketli veya itici plaka. Enjeksiyon presi açılmaya başladığında orta palaka ile hareketli plaka beraber hareket eder ve besleme kanalı ile yolluk serbest kalarak parçanın meme ile ilişkisi kesilir.



Şekil 4.3. Üç-Plakalı enjeksiyon kalıbı

Sıcak yolluklu kalıplarda adından da anlaşılacağı gibi yolluk sıcak tutularak erimiş plastiğin işlem sırasında akışkan kalması sağlanır. Bunun sonucu olarakta bu tür kalıplara yolluksuz kalıp ta denir.Sıcak yolluklu kalıplar sistem olarak üç plakalı kalıplara benzer, tek fark kalıptaki yolluk kesiti işlem esnasında açılmamaktadır.



Şekil 4.4. Sıcak-Yolluklu enjeksiyon kalıbı

İzole edilmiş sıcak-yolluklu kalıplar, sıcak-yolluklu kalıpların bir değişik çeşididir. Bu tip kalıplarda malzemenin dış yüzeyi izalatör gibi görev görerek erimiş malzemenin içinden akmasını sağlar.

Sıcak-manifoltlu kalıplar sıcak-yolluklu kalıpların diğer değişik çeşididir. Bu tür kalıplarda yolluk plakası değil yolluğun kendisi besleme kanalı, yolluk ve memeye geçirilen elektriksel uçlar ile ısıtılır.

Son çeşit olan istiflenmiş kalıplar, birden fazla iki plakalı kalıbın üst üste yerleştirilmesi ile meydana gelir. Bu tür kalıplarda eğer iki adet iki-plakalı kalıp kullanılmış ise elde edilen ürün sayısı normal olarak elde edilen ürün sayısının iki katıdır. Kullanılan enjeksiyon makinasının ilave olarak atış kapasitesine ihtiyacı vardır.

4.3. ERGİMİŞ PLASTİĞİN AKIŞI

Plastik enjeksiyon kalıp tasarımında ilk olarak kalıbın çalışma prensibi ikinci olarak ta enjeksiyon prosesinin sınırları belirlenir. Bunlara ilave olarak, kullanılan plastiğin özellikleri ve mühendislik yaklaşımları tasarımdaki ilave faktörlerdir.

Plastik enjeksiyon kalıp tasarımı geniş tasarım serbestisine sahip olmasına rağmen, en uygun sonuçlar parça tasarımcısının prosesle ilgili faktörleri dikkate alması ile elde edilir. Bu faktörler dikkate alındığında kalıp konstrüksiyonunun büyük miktarda değiştiği görülür. Tasarım optimum şekilde yapılarak kısa atışlar ile çok uzun akış yolu, geniş yüzeyler veya aşırı ince kesitler oluşabilir.

Kalıp çekmesi; parçanın enjekte edildikten ve havada soğuduktan sonraki boyutları ile parçayı meydana getirecek kalıptaki oyuk boyutları arasındaki farktır. Çekme miktarı kullanılan plastiğe, proses parametrelerine ve plastiğin akış yönüne bağlıdır. Plastiğin akış yönündeki çekme miktarı ile akış yönüne dik eksenindeki çekme miktarı farklıdır.

Düz yüzeylerdeki burkulmalar kaburga kullanılarak önlenabilir, fakat bu seferde kaburganın bulunduğu yüzeyin arka yüzeyinde hafif çökme noktaları görülebilir. Parçada bulunan keskin köşeler yuvarlatılmalı ve dolayısıyla çentik etkisi, gerginlik birikmesi

parça üzerinde azaltılmalıdır. Aynı zamanda, yuvarlatılmış köşeler akışa karşı az direnç gösterirler.

Kalıp tasarımında parça et-kalınlığı mümkün olduğu kadar ince ve değişmeyen tutulmalıdır. Bu şekilde: (1) en az plastik tüketimi, (2) en az işlem zamanı, (3) kalıbın her yerinde değişmeyen çekme değeri, (4) değişmeyen kalıp dolumu ve (5) en az iç gerginlik riski sağlanır.

Ergimiş plastiğin kalıptaki akışı çeşitli faktörlere bağlıdır. Bunlar ; kullanılan plastik, sıcaklık, kalıp sıcaklığı, akış uzunluğu, besleme kanalı çapı, yolluk çapı ve meme tipidir. Bu faktörlerin hepsi beraber olabilecek en az et-kalınlığını belirler. Farklı tasarımlarda yukarıda bahsedilen faktörler değişeceği için tam olarak olabilecek en az et-kalınlığının akış uzunluğu ile ilişkisi verilememektedir. Tipik olarak, genel amaçlı termoplastiklerde kullanılan akış uzunluğunun oyuk et-kalınlığına oranını gösteren değerler Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Yaklaşık olarak, termoplastiklerde akış uzaklığının et-kalınlığına olan en fazla oranı.

| | |
|-------------------------|-----------|
| ABS | 175:1 |
| Asetal | 140:1 |
| Akrilik | 130-150:1 |
| Naylon | 150:1 |
| Polikarbonat | 100:1 |
| Polietilen | |
| Düşük yoğunluk | 275-300:1 |
| Yüksek yoğunluk | 225-250:1 |
| Polipropilen | 250-275:1 |
| Polisitrin | 200-250:1 |
| Polivinil-Klorid, sabit | 100:1 |

4.4. OYUKLARIN SAYISI

Plastik malzeme seçilip ürünün tasarımı belirlendikten sonra sıra kalıpta bulunacak oyuk sayısına gelir. Bunu belirlerken aşağıdaki noktalara dikkat edilmelidir;

1. Plastik enjeksiyon baskı sayısı ve teslimat programı.
2. Kalite kontrol istekleri (Boyutsal toleranslar v.s.).
3. Kalıp maliyeti.
4. Kullanılan polimer malzeme (memenin tipi ve yerleşimi).
5. Kalıbın boyutları ve şekli.
6. Enjeksiyon makinası (atış kapasitesini, plastiklik kapasitesini ve kalıp ayırmasını belirlemek için).

Burada ana amaç, en ekonomik ve fonksiyonel kalıbı elde etmektir. Bu sebeple, avantajları ve dezavantajları dikkatlice değerlendirmek gerekir. Tek oyuklu kalıplarda; enjeksiyon prosesi, kalıbın imalatı ve elde edilecek ürünün boyutları ile ilgili avantajlar olmasına rağmen çok fazla miktarda ürün gereken tasarımlarda birden fazla oyuk bulunan kalıpların tercih edilmesi ekonomik açıdan yararlıdır. Aynı zamanda, çok küçük parçaların enjekte edilmesi gerekli ve eldeki enjeksiyon makinası çok büyük kapasitede ise tek çözüm çok oyuklu kalıp tasarımlarıdır. Fakat, çok oyuklu kalıp tasarımlarında kalıbın imalatı pahalıya gelir ve aynı zamanda proseste bir hata olduğunda bir çok parçanın bozulmasına sebep olunur.

Plastik enjeksiyon kalıp teknolojisinde oyuk sayısı aşağıdaki yöntemlerle belirlenir (Injection Handbook, 1988);

1. Kalıpta bulunabilecek en fazla oyuk sayısı atış ağırlığının (S) ürünün ağırlığına (W) olan oranı ile bulunur. S değeri makinanın atış kapasitesinin %80'i olarak alınır.

$$\text{En fazla oyuk sayısı} = S / W \quad (4.1)$$

2. Kalıpta bulunabilecek oyuk sayısı makinanın plastikleştirme kapasitesi (P) ve dakikadaki tahmini atış sayısı (X) ile belirlenir.

$$\text{Oyuk sayısı} = P / (X \cdot W) \quad (4.2)$$

Kalıptaki oyuk sayısını etkileyen ve oyukların yerleşimini sınırlayan diğer faktörlerde bulunmaktadır. Yerleşimi sınırlayan etken dış oyuk ile ana besleme kanalı

arasındaki mesafedir. Bu mesafe uzak olduğunda ergimiş plastik yolluklarda ısı kaybeder ve dış oyukların uygun şekilde doldurulmasına engel olur. Yollukların kesit alanı ve ergimiş plastiğin viskozitesi yeterli olacak şekilde enjeksiyon doldurma hızı arttırıldığında yukarıda bahsedilen hataların oluşumu en aza indirilir.

Çok oyuklu kalıplarda dikkat edilmesi gereken en önemli özellik oyukların kalıp üzerindeki yerleşimidir. Oyuklar ana besleme kanalı etrafında öyle yerleştirilmelidirki herbiri enjeksiyon sırasındaki toplam basıncı eşit şekilde tam olarak paylaşmalıdır. Bu şekilde olan sistemlere dengelenmiş yolluk sistemleri denir. Dengelenmiş yolluk sistemlerinde ana besleme kanalı ile oyuklar arasındaki mesafe mümkün olduğu kadar kısa, yolluk ve meme boyutları eşit ve kalıbın her yerinde soğuma aynı olmalıdır. Şekil 4.4'te dengelenmiş ve dengelenmemiş oyuk yerleşimleri gösterilmiştir.

4.5.KAPAMA KUVVETİ

Kapama kuvveti enjeksiyon sırasında kalıbı kapalı tutmak için gerekli olan kuvvettir. Değer olarak, oyukta bulunan basınç ile tüm yolluk ve oyukların toplam izdüşüm alanının çarpımından elde edilen değerden büyük olmalıdır (Injection Handbook, 1988).

$$\text{En az kapama kuvveti} = 1,2 \times (\text{İzdüşüm alanı} \times \text{Oyuk basıncı}) \quad (4.3)$$

Tablo 4.3'te poliolefinler ve polisitrinler için geçerli olan akış yolunun uzaklığına göre ihtiyaç duyulan kapama basıncı değerleri verilmiştir. Genel kural olarak kalıptaki her bir mm^2 izdüşüm alanı için 4.6 Kg kapama kuvveti uygulanır. Kalıba çok fazla kapama kuvveti uygulamakta doğru değildir. Eğer enjeksiyon makinasına ufak bir kalıp monte edilmiş ve fazla kapama kuvveti uygulanmış ise kalıbın işlem esnasında deforme olması kaçınılmazdır. Kalıplarda izdüşüm alanı gerekli olan kapama kuvvetini belirlemesine rağmen her bir atışta kullanılan plastiğin ağırlığı ve hacmi kullanılması gereken enjeksiyon makinasının kapasitesini belirler. Burada bahsedilen her bir atıştaki plastiğin ağırlığına ve hacmine besleme kanalı ve yolluklarda bulunan plastikte ilave edilmelidir.

Tablo 4.3. Polietilen, polipropilen ve polistiren için akış yolunun uzaklığına ve kesit et-kalınlığına bağlı olan kapama basıncı değerleri.

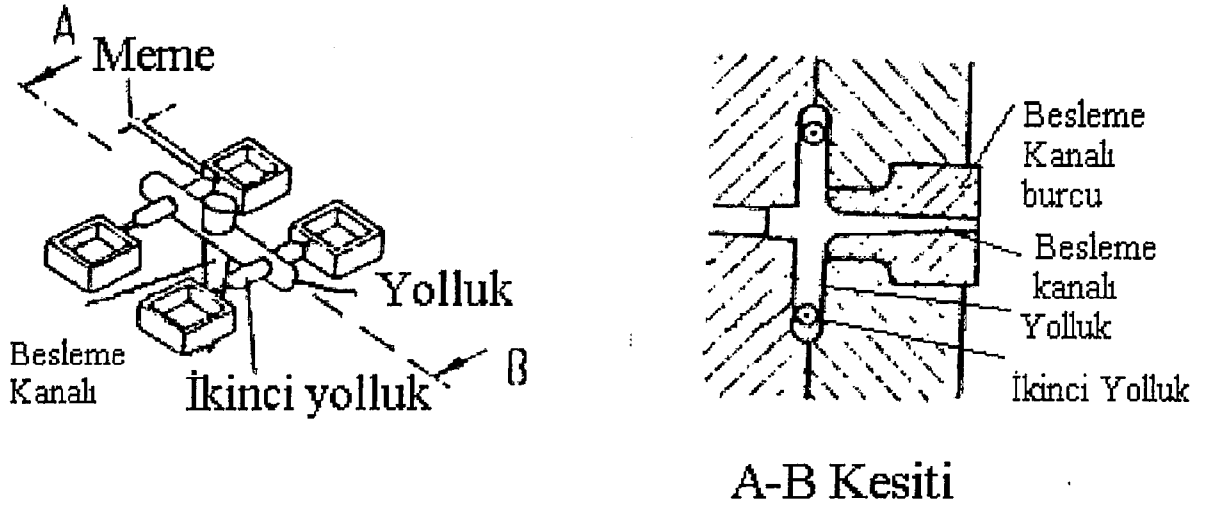
| Ortalama Parça Kesit Et-kalınlığı | Gerekli olan Kapama Basıncı (PSI) | | | | |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | Akış yolu uzunluğunun Parça et-kalınlığına oranı | | | | |
| mm | 200:1 | 150:1 | 125:1 | 100:1 | 50:1 |
| 1.01 | - | 9,960 | 9,000 | 7,200 | 4,500 |
| 1.52 | 12,000 | 8,500 | 6,000 | 4,500 | 3,000 |
| 2.03 | 9,000 | 6,000 | 4,500 | 3,800 | 2,500 |
| 2.54 | 7,000 | 4,500 | 3,500 | 3,000 | 2,500 |
| 3.05 | 5,000 | 4,000 | 3,100 | 3,000 | 2,500 |
| 3.56 | 4,500 | 3,500 | 3,100 | 3,000 | 2,500 |

4.6.YOLLUK SİSTEMLERİ

Yolluk sistemi, ergimiş plastiği enjeksiyon makinasının beslemesinden kalıp oyuğuna taşır. Yolluk sisteminin konfigürasyonu, boyutları ve parça ile olan bağlantısı enjeksiyon prosesini ve dolayısıyla ürünün kalitesini oldukça etkiler.Yolluk sistemi aşağıdaki ana parçalardan oluşur;

- 1.Besleme kanalı
- 2.Yolluklar
- 3.Meme

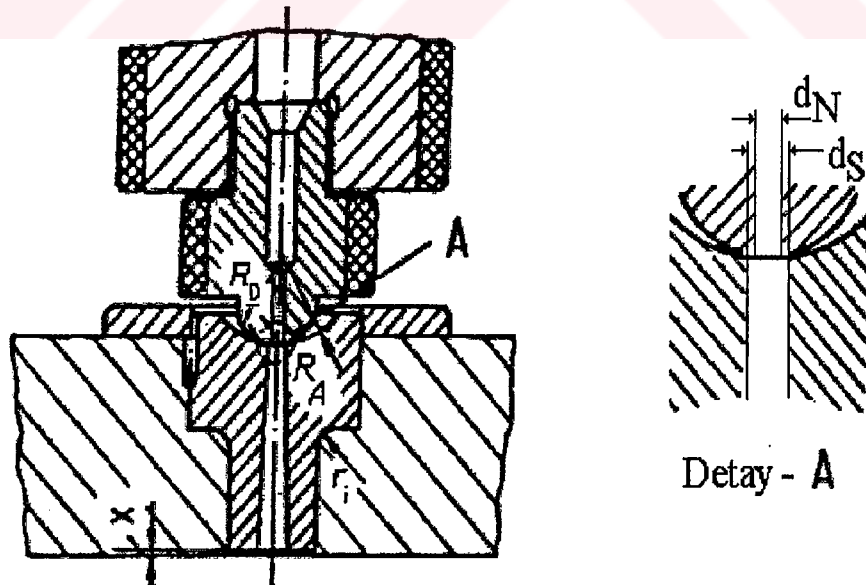
Besleme kanalı enjeksiyon makinasından ergimiş plastiği alarak kalıbın birleşme yüzeyine aktarır.Bu yüzey genellikle besleme kanalına diktir.Yolluklar çok oyuklu kalıplarda sistemdeki basıncı ve sıcaklığı eşit dağıtacak şekilde malzemeyi oyuklara taşır. Meme yolluktan oyuğa geçişi sağlar. Şekil 4.5'te yolluk sistemleri gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Yolluk Sistemleri

4.6.1. Besleme Kanalı

Tek oyuklu kalıplarda genellikle besleme kanalı direk olarak oyuğun içine girer. Bu durumlarda oyuğun girişindeki besleme kanalı çapı malzemenin o noktadaki et-kalnlığının 2 katıdır. Besleme kanalının enjeksiyon makinası ile bağlantısını yapan besleme kanalı burcu bir çok uygulamada küresel yüzeyledir.



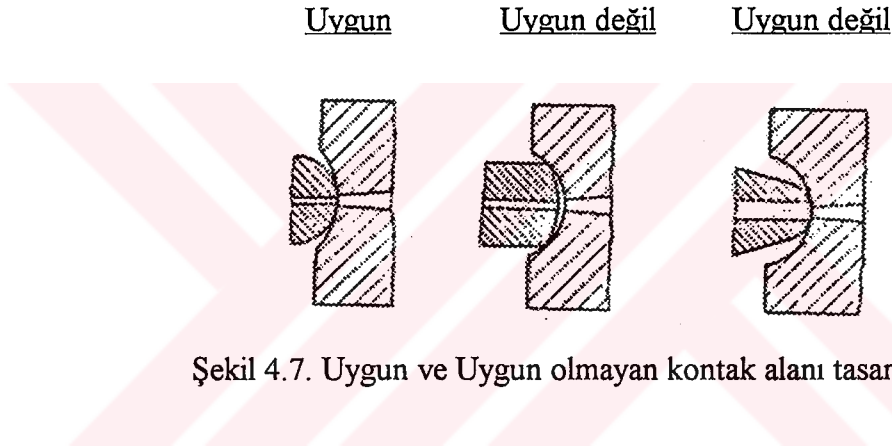
Şekil 4.6. Makina nozulu ile besleme kanalı burcunun arasındaki kontak alanı

Aşağıda Şekil 4.6'de belirtilmiş sembollerin boyutlandırılması ile ilgili ifadeler verilmiştir(H.M. Inj. Molds, 1986). R_D , nozul ucu küresel radyüsü, R_A besleme kanalı burcundaki küresel radyüs, d_N nozulun orifis çapı, d_s ise besleme kanalı burcunun orifis çapıdır.

$$R_D + 1 \leq R_A \text{ (mm)} \quad (4.4.)$$

$$d_N + 1 \leq d_s \text{ (mm)} \quad (4.5)$$

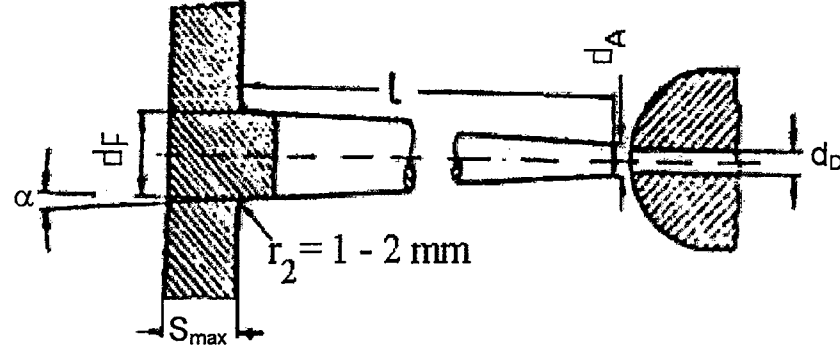
Bu ifadeler dikkate alınmaz ise kalıpta sızdırmazlık sağlanmamış olur. Şekil 4.7'de uygun olan ve olmayan kontak alanları gösterilmiştir.



Besleme kanalının boyutlandırılması ana olarak kalıp boyutlarına ve parça et kalınlığına bağlıdır.Besleme kanalı tasarımında dikkate alınması gereken unsurlar ana hatlarıyla aşağıda verilmiştir:

- 1.Besleme kanalı diğer kesitlerden önce donmamalıdır.Donduğu takdirde basınçta düşme olacağından ürünün kalitesi iyi olmaz.
- 2.Besleme kanalı kalıptan kolayca ve güvenilir şekilde ayrılmalıdır.

Bu sonuçlara göre Şekil 4.8'da besleme kanalının boyutlandırılması gösterilmiştir.



$$d_F \geq S_{\max} + 1.5\text{mm} \quad \alpha \geq 1^\circ \dots 2^\circ$$

$$d_A \geq d_D + 1\text{mm} \quad \text{tg}\alpha \geq d_F - d_A / 2L$$

Şekil 4.8. Besleme Kanalının boyutlandırılması

Besleme kanalının malzeme ile birleştiği yerde r_2 radyüsü akışı kolaylaştırması amacıyla gereklidir. Besleme kanalı çapının yetersiz olduğu tasarımlarda sürtünmeden dolayı oluşan ısı memede plastiğin düzensiz hareket etmesine ve kalıp malzemesinin aşınmasına yol açar. Çok büyük besleme kanalı çapı ise enjeksiyon zamanını arttırır.

4.6.2. Yolluklar

Oyuklar kalıp içinde öyle yerleştirilmelidirki (1) Yollukların uzunluğu kısa olmalı ve eğer mümkünse bükülmeler olmamalıdır ve (2) her bir oyuğa aktarılan malzemenin sıcaklığı ve basıncı aynı olmalı diğer bir deyişle dengelenmiş olmalıdır. Buradan da anlaşıldığı gibi yollukların ve memelerin şekli ve boyutları aynı olmalıdır. Yolluk imalatında yüzey pürüzlülüğü çok önemlidir. Genelde yollukların yüzey pürüzlülüğü 50 rms olacak şekilde imalatı yapılır. Yollukların ana fonksiyonları aşağıda verilmiştir:

1. Ergimiş malzemeyi oyuğa en az ısı ve basınç kaybı olacak şekilde hızlı şekilde aktarır.
2. Malzeme oyuğa (veya oyuklara) memelerden aynı zamanda aynı basınç ve sıcaklıkta girmelidir.
3. Malzeme tasarrufu açısından kesit alan en az tutulmalıdır.

4. Yüzey alanın hacime oranı en az tutulmalıdır.

Sıcaklık durumlarına bağlı olarak üç çeşit yolluk sistemi vardır.

4.6.2.1. Standart Yolluk Sistemi

Standart yolluklar doğrudan kalıbın içerisinde imal edilirler. Bu tür yolluklarda kalıbın ısıtılmasına gerek yoktur yani enjeksiyon işlemi kalıp sıcaklığında gerçekleştirilir. Standart yolluklara “İzotermal” yolluklarda denir. Ergimiş plastik malzeme her bir enjeksiyonda yolluklarda donar ve atış sonrası ürün ile birlikte alınır.

4.6.2.2. Sıcak-Yolluklu Sistemler

Sıcak-yolluklu sistemlerde kalıp manifoldu yardımıyla 180-300°C' ye kadar kullanılan termoplastik malzemenin ergime ısısına bağlı olarak ısıtılır. Bu sistemlerde ergimiş malzeme manifoldun yardımı ile makinanın nozulundan memeye kadar ısı kaybı olmadan taşınır. Sıcak-yolluklu sistemler makina nozulunun oyuğa kadar taşınmış hali olarak düşünülebilir. Standart yolluklu sistemlerden farklı olarak, termoplastik malzeme yolluklarda akışkan durumundadır ve dolayısıyla enjeksiyon sonrası alınmasına gerek yoktur, yolluklar bir sonraki plastik atışı için hazırdır. Sıcak yolluklu kalıpların temel problemi kalıp soğuduktan sonra sıcak manifoldun kalıptan alınmasıdır.

4.6.2.3. Soğuk-Yolluk Sistemleri

Soğuk-yolluklu kalıplar sıcak-yolluklu kalıplardan farklı olarak termoset ve kauçuk malzemenin kullanıldığı tasarımlarda kullanılırlar. Yolluk 80-120°C'de tutularak malzemenin erken reaksiyona girmesi engellenir.

4.6.3. Yolluk Tasarımı

Çok ufak kesitli yolluk kullanılan tasarımlarda yüksek enjeksiyon basıncı gereklidir ve oyuğu doldurmak için gerekli olan işlem zamanında fazla olmalıdır. Geniş yolluk kullanılan tasarımlarda elde edilen ürünün yüzey görünümü iyi olur, kaynak noktaları, akış noktaları, çökme noktaları ve iç gerginlikler en aza indirgenir. Bütün bunlara rağmen aşırı geniş yolluk kesitlerinden aşağıdaki sebepler gözönüne alınarak kaçınılmalıdır:

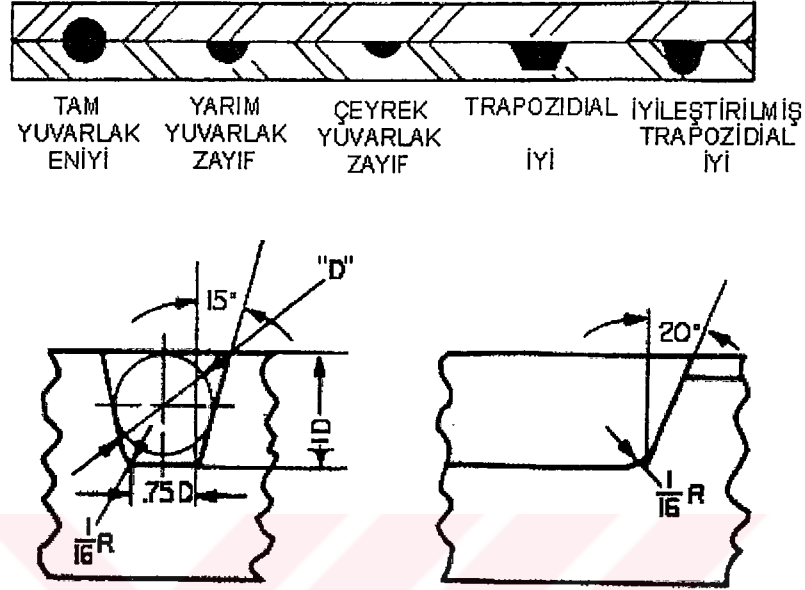
1. Geniş kesitli yollukta bulunacak malzeme makinanın atış kapasitesini azaltacaktır.
2. Ürün üzerinde işlem görmesi gereken daha fazla malzeme kalır.
3. Sekizden fazla oyuk içeren iki-plakalı kalıplarda toplam izdüşüm alanına yollukların etkisi artacağından makinanın kapama kuvvetinde azalma olacaktır.

Tablo 4.4'te yolluk tasarımını etkileyen faktörler verilmiştir.

Tablo 4.4. Yolluk tasarımını ve boyutlarını etkileyen faktörler.

| Yollukları etkileyen maddeler | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Parça hacmi Et-kalınlığı Plastik malzemesi Akış yolunun uzunluğu Akış direnci Yüzey/Hacim oranı | Isı kaybı Sürtünmeden dolayı olan kayıplar Soğuma zamanı Hurda miktarı İmalat maliyeti Kalıp tipi |

Çeşitli yolluk tipleri Şekil 4.9.'da gösterilmiştir. Tasarımlarda en çok tercih edilen yolluk tipi sıcak malzeme ile soğuk kalıp arasında en az temas sağlayan tam yuvarlak yolluktur.



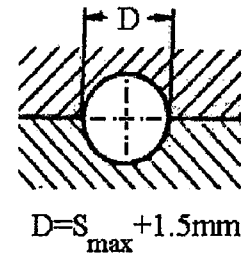
Şekil 4.9. Yolluk Çeşitleri

Yolluk kesitinin boyutlandırılması basit olarak yapılacak bir hesaplama değildir. Burada kullanılan malzemenin özellikleri, proses ile ilgili sıcaklık, basınç, malzeme akış debisi, viskozite gibi etkenlerin önemli rol oynadığı bilinmektedir. Bir çok uygulamada yolluk kesitinin hesaplanması literatürlerde verilen aşağıdaki ifade ile gerçekleşir;

$$D = s_{\max} + 1.5\text{mm}$$

D : Yolluk çapı (mm)

s_{\max} : Parçanın en fazla et-kalınlığı



$$D = s_{\max} + 1.5\text{mm}$$

Şekil 4.10. Tam yuvarlak yolluk kesiti

4.6.4. Meme Tasarımı

Memenin kesit alanı, enjeksiyon sonrası yolluk kesit alanındanki malzemeyi kalıptan kolayca çıkarmak amacıyla küçük tasarlanır. Aynı zamanda, memenin yerleşimi de elde edilecek ürünün kalitesi açısından çok önemlidir. Çoğu zaman ilk denemeler sonrası kalıptaki meme yerleri değiştirilir.

Kalıpta meme öyle bir yere yerleştirilmelidir ki hızlı ve her yerde aynı plastik malzeme dolumu sağlanmalıdır. Prensipte olarak memeler et-kalınlığının en fazla olduğu ve görünümün önemli olmadığı yerlerde bulunmalıdır. Büyük kesitli memeler her zaman enjeksiyon sonrası ilave bir işlemle mekanik olarak temizlenir ve parça üzerinde iz bırakır. Bu sebeple, ufak ve yüzeysel parçalarda meme her zaman iç tarafta bırakılır.

Meme yerleşiminde diğer önemli etkende kaynak noktalarıdır. Parça üzerinde kaynak noktaları en az olacak şekilde memenin yerleşimi yapılmalıdır. Kaynak noktaları parçanın mukavemetini azalttığı gibi görünüm olarakta ürünü etkilerler.

Aynı zamanda, enjeksiyon sırasında oluşan havanın oyuktan dışarı atılmasını engellemeyecek şekilde memelerin pozisyonlanması gerekir. Bu sağlanmadığı takdirde ürün üzerinde yanmalar oluşur.

Ergimiş malzemenin oyuk içerisindeki akışı memenin şekline ve boyutuna bağlıdır. İyi bir akış, her yerde aynı dolumu sağlar ve kademelerin oluşmasını engeller. Plastik malzemenin oyuğa püskürtülerek enjekte edilmesi yüzeyde hasarlara ve akış çizgilerine yol açar. Püskürtmenin oluşum sebebi büyük parçaların dar kesitli meme ile doldurulmasıdır. Bu hatayı önlemek için meme kesiti genişletilir ve meme yerleşimi plastik akışını oyuk duvarına yönlendirecek şekilde yapılır.

Yukarıda bahsedilen nedenlerden dolayı en uygun meme şekli, boyutu ve yerleşimi çoğu zaman denemeler sonucu bulunur ve bu da işgücü kaybını artırır. Meme ile ilgili tasarım aşamaları bilgi ve tecrübe gerektirdiğinden günümüzde bilgisayar teknolojisinin sanayiye sağladığı analiz programlarını kullanmak tasarımın hızını arttıracak ve en uygun sonuçlar bu şekilde elde edilecektir. Şekil 4.11'de kalıp tasarımında kullanılan meme tipleri gösterilmiştir.

Şekil 4.11’de gösterilen meme tiplerinin sık kullanılanları hakkında aşağıdaki kısa açıklamalar verilmiştir:

1.Standart Meme: Tek oyuklu kalıplarda besleme kanalının direk olarak oyuğu malzeme ile doldurması istendiğinde kullanılır. Bu şekildeki kalıplarda oyuk hızlı ve iyi bir şekilde doldurulur.

2.İğne-uçlu meme: Genellikle üç-plakalı ve sıcak-yolluklu kalıp tasarımlarında kullanılır. Memedeki malzemenin hızlı donarak üründen kolayca ayrılmasını sağlar.İğne-uçlu meme tasarımlarının diğer bir avantajı da parçaya birden fazla giriş sağlamasıdır.

3.Tünel Meme: Çok oyuklu kalıp tasarımlarında sık sık kullanılır. En önemli avantajı parçanın kalıbın açılması esnasında otomatik olarak yolluktan ve memeden ayrılmasıdır.

4.Kenar Meme: Parçanın kenarına yerleştirilen meme tipidir.Geniş alanlı plaka ve folyö türü parçalarda kullanılır. Ürün üzerinde kaynak noktası oluşumunu engeller, yüksek kalitede ve doğru boyutlarda ürün elde etme imkanı sağlar.

5.Yüzük Meme:Ovalliğin önemli olduğu silindirik ve yuvarlak parçaların kalıp tasarımında kullanılır.Bu tür memenin kullanıldığı tasarımlarda ürün üzerinde hafif olarak kaynak noktaları oluşumuna izin verilmelidir.

6.Disk Meme : Eksenel simetrik olan parçalarda kullanılır. Ürün üzerinde kaynak noktası oluşumu ve ürün mukavemetinde azalma olmaz.

Memeler ilk deneme için her zaman ufak imal edilmelidir, gerektiğinde sonradan büyütülebilir.Çok oyuklu tasarımlarda memenin boyutlandırılması aşağıdaki ifadeler(Injection Handbook, 1988) kullanılarak yapılır:

1. Yuvarlak kesitli memeler için

$$d_2 = d_1 (W_2/W_1)^{1/4} \quad (4.6)$$

2. Dikdörtgen kesitli memeler için

$$t_2 = t_1 (W_2/W_1)^{1/3} \quad (4.7)$$

d_1 =birinci oyuğun meme çapı (cm)

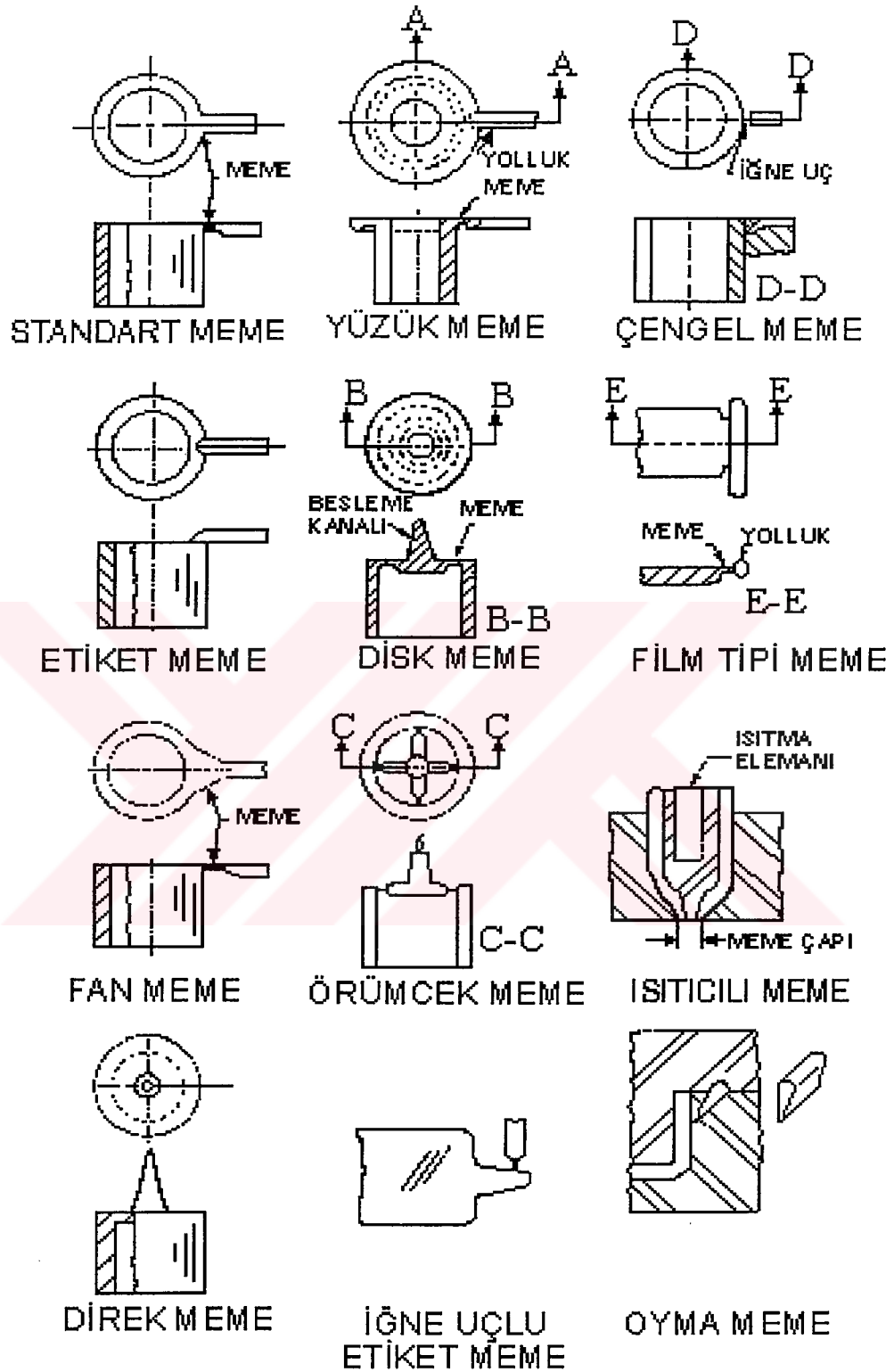
d_2 =ikinci oyuğun meme çapı (cm)

t_1 =birinci oyuktaki memenin derinliği

t_2 = ikinci oyuktaki memenin derinliği (cm)

W_1 =birinci oyuktaki ürünün ağırlığı (g)

W_2 = ikinci oyuktaki ürünün ağırlığı (g)



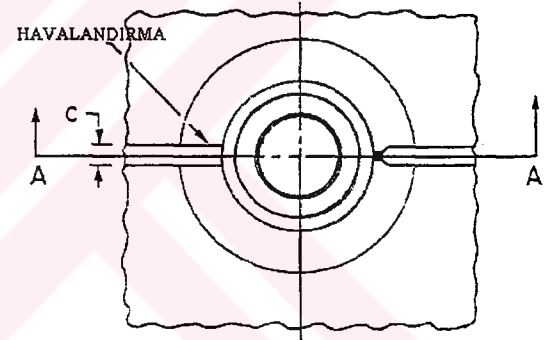
Şekil 4.11. Meme Tipleri

4.7.KALIP HAVALANDIRMASI

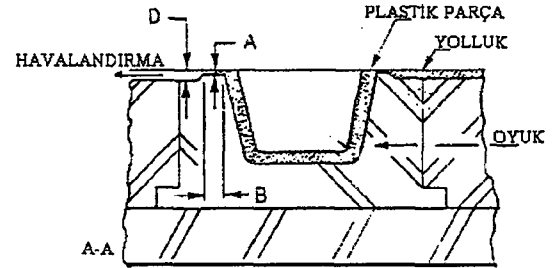
Her enjeksiyon kalıbı, plastik malzeme kalıbı doldurdukça alınması veya yer değiştirilmesi gereken hava içermektedir. Kalıp oyuğunda bulunan hava, enjeksiyon işlemi sırasında kendiliğinden dışarı çıkmalıdır. Çok yüksek plastik enjeksiyon hızlarında oluşan yetersiz havalandırma havanın kalıp içerisinde sıkışmasına, yavaş kalıp dolumuna ve dolayısıyla basınç artımına sebep olmaktadır, aşırı durumlarda da plastik malzemenin kalıp içerisinde yanmasıyla karşılaşmaktadır.

Kalıp havalandırması kalıp birleşme yüzeyinde veya ufak tüneller içerisinde boşluk veya havalandırma kanalları kullanılarak yapılır.Kalıp havalandırma kanalları ile ilgili tasarımda uygulanacak boyutlar Şekil 4.12’de gösterilmiştir.

A=0.076mm Naylon ve Acetal dışındaki
B=3.175mm termoplastik malzemeler
için.
C=12.7mm.
D=0.254mm



A=0.038mm Naylon, Asetal ve Pet için.
B=3.175mm
C=12.7mm
D=0.254mm



Şekil 4.12. Termoplastik enjeksiyon kalıplarının havalandırma yöntemi

Havalandırma kanalları akış yolunun sonunda olmalıdır.Merkezden beslemeli meme tipinde havalandırma çepeçevre yapılabilir, fakat kenardan beslemeli meme tipinde

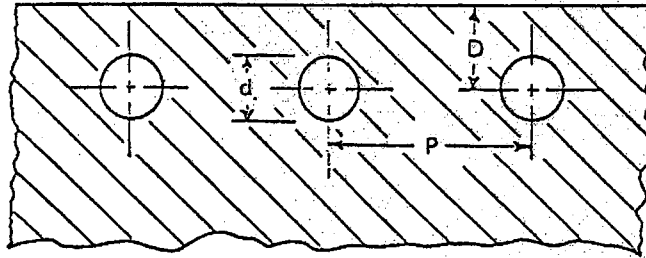
havalandırma kanalı akışın bittiği yerde olmalıdır. Meme tasarımında havalandırma da düşünülerek tasarıma tolerans verilmelidir.

4.8.KALIP SOĞUTMASI

Kalıp tasarımında en önemli etkenlerden birisi de yeterli ve uygun kalıp soğutmasıdır. Bütün plastik enjeksiyon kalıplarında, sıcak kalıplar da dahil olmak üzere, kalıbın diğer bir görevi ergimiş plastiğin soğumasını sağlamaktır. Kalıp tasarımında soğutma sisteminin ayrı bir önemi vardır. Enjeksiyon kalıbı hızlı ve her yerde aynı olacak şekilde soğutulmalıdır. Kalıp tasarımında soğutma ünitesinin de var olacağı düşünülerek kalıpta bulunacak komponentlere ve iticilere tolerans verilmelidir.

Hızlı soğuma proses maliyetini düşürecek , her yerde aynı olan soğuma parça üzerinde oluşan farklı çekmeleri, iç gerginlikleri, kalıp ayırma problemlerini azaltacak ve ürün kalitesini arttıracaktır. Kalıp soğutma işlemi yeterli ve uygun şekilde yerleştirilecek soğutma kanalları ile sağlanır. Bu kanalların yerleşimi kalıbın şekli ile uyumlu olmalı ve oyuk duvarlarına mümkün olduğu kadar yakın olmalıdır.

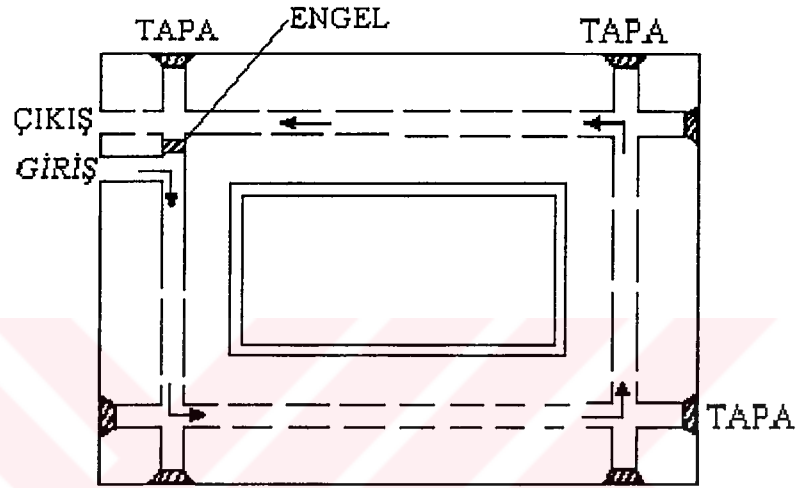
Soğutma kanallarının kalıp yüzeyinden olan uzaklığı arttıkça ısı transferinin veriminde azalma olur ve kanallar arası mesafe arttıkça kalıp yüzeyindeki sıcaklık dağılımı değişir (Bkz. Şekil 4.13.).



$d = \text{Soğutma kanalı çapı} = 11 - 14 \text{ mm}$
 $D = \text{Soğutma kanalı derinliği} = d - 2d$
 $P = \text{Hatve (Kanallar arası mesafe)} = 3d - 5d$

Şekil 4.13. Tavsiye edilen kalıp soğutma kanalları çap ve hatve değerleri

Kalıp içine soğutucu akışkanın geçmesi için açılmış olan kanallar kalıp yüzeyine çok yakın olmamalıdır. Kanallar arasındaki mesafe, enjeksiyon basıncı altında kalıbın deforme olmasını sağlamayacak şekilde olmalıdır. Soğutma kanallarının giriş ve çıkışı soğutucu kaynağına, ısı transferini her yerde aynı yapacak şekilde paralel bağlanmalıdır. Soğutucu kanallarının boyutları kanal içerisinde türbülans olacak şekilde tasarlanmalıdır. Şekil 4.14'te oyuk soğutma sistemine bir örnek verilmiştir.



Şekil 4.14. Oyuk soğutucu sistemine bir örnek

4.8.1. Soğuma Zamanı

Enjeksiyon işleminin maliyetini arttıran bir diğer etken parça başına düşen enjeksiyon zamanıdır. Enjeksiyon zamanını etkileyen en önemli etken, parçayı kalıptan almak için gerekli olan sıcaklığa kalıbın soğutulması için geçen zamandır.

Prensip olarak, kalıptan parçayı almak için yeterli olan sıcaklık, ergimiş plastik ürünün dış yüzeyinin sertleştiği sıcaklıktır. Bu durumda, parçanın iç yüzeyi daha sıcak olacaktır. Parçayı kalıptan almak için gerekli olan sıcaklığa ulaşılmasında geçecek olan en az zamanı aşağıdakiler etkiler;

1. Ürünün et-kalınlığı

2. Polimer ile kalıp sıcaklığı arasındaki fark

3. Ürünün kalıptan alınması için gerekli olan zamanla kalıp sıcaklığı arasındaki fark

En az soğuma zamanı aşağıdaki formül ile hesaplanabilir (Inj. Handbook, 1988)

$$C = \frac{-t^2}{2\pi\alpha} \log_e \left[\frac{\pi (T_x - T_m)}{4 (T_c - T_m)} \right] \quad (4.8)$$

C=En az soğuma zamanı (sn)

t=Ürünün et-kalınlığı (cm)

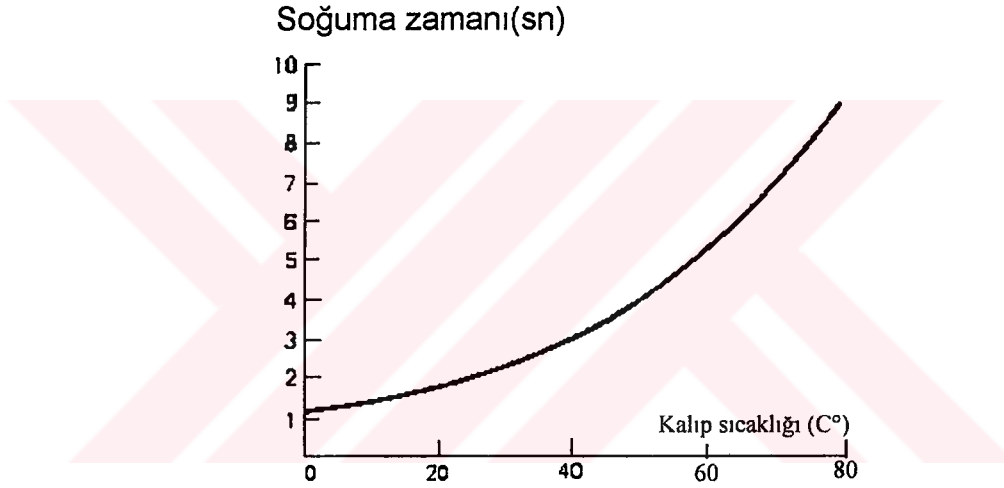
α =Malzemenin termal yayılma sabiti (cm²/sn)

T_x=Kalıbın itme sıcaklığı (°C)

T_m=Kalıp sıcaklığı (°C)

T_c=Silindir sıcaklığı (°C)

Bu formülden yola çıkarak Şekil 4.15'te kalıp sıcaklığının soğuma zamanına etkisi gösterilmiştir.



Şekil 4.15. Kalıp sıcaklığının soğuma zamanına etkisi

4.9.PARÇANIN KALİPTAN ÇIKARILMASI

Ürün, enjeksiyon işlemi sonunda itici mekanizmanın bulunduğu kalıbın hareketli yarısında kalmalıdır ve bunu sağlamak için parçayı oluşturan göbekte kalıbın hareketli yarısında bulunmalıdır. Parçanın az miktarda oyuğa yapışması burkulmalara, gerginliklere ve boyutsal bozukluklara yol açacaktır. Bu durumda, ilave olarak kalıp oyuğunda çıkarma yönünde parlatma çizgileri yapılmalı veya kalıp sıcaklığı ayarlanmalıdır. Bazı durumlarda ise göbeğe yüzey pürüzlülüğüde verilebilir.

Kalıp açılma yönündeki bütün yüzeylere kalıptan parçanın çıkarılmasını kolaylaştıracak şekilde açı verilmelidir. Yeterli olmayan çıkarma açısı deformasyona ve hasara yol açacaktır. Kalıpta ihtiyaç duyulan çıkarma açısı oyuğun derinliğine bağlıdır; derin olan oyuklarda daha fazla çıkarma açısına ihtiyaç duyulur. Çıkarma açısını belirlerken malzeme çekmesini dikkate almak gerekir.

Kalıptan ürünü ayırmada etkili diğer bir faktör de kalıbın katılığıdır. Katı kalıplarda esnek kalıplara nazaran daha az çıkarma açısına ihtiyaç duyulur. Pratik olarak, en az 1° çıkarma açısı kalıp yüzeylerine uygulanmalıdır. Ufak kalıplarda 0.5°-1° , büyük kalıplarda ise 3°'ye kadar çıkarma açısı uygulanır.

Kalıptan parçayı çıkarmak için genelde piyasada rahatça bulunan ve çeşitli tasarımlar için uygun olan itici miller, sıyrıcılar, burçlar, plakalar veya yüzükler kullanılır. Kullanılacak itici sisteminin tipi ürünün şekline, esnekliğine veya katılığına bağlıdır fakat nasıl olursa olsun ürün itme işlemi sırasında hasara uğramamalıdır. Parçayı kalıptan çıkarmak için gerekli olan itici kuvvet aşağıdaki formül ile hesaplanır (Injection Handbook, 1988):

$$F = \frac{S_t \times E \times A \times \mu}{d \cdot \left(\frac{d}{2t} - \frac{d}{4t} \times \gamma \right)} \quad (4.9)$$

F= Gerekli olan itici kuvvet (kgf)

E= Elastiklik değeri (kgf/cm²)

A =İtme yönündeki ürün yüzeyi ile kalıp yüzeyi arasındaki toplam temas alanı (cm²)

μ = Plastik ile çelik arasındaki sürtünme katsayısı

d = Göbeği çevreleyen dairenin çapı (cm)

t = Ürün et-kalınlığı (cm)

γ =Plastiğin Poisson oranı

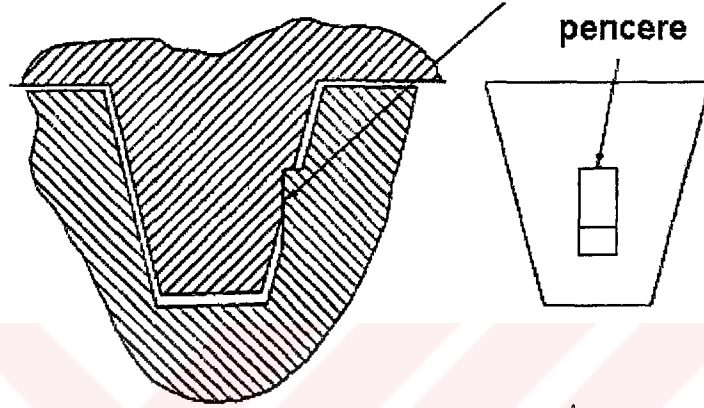
S_t =Termal genleşme katsayısı x {itme sıcaklığı - yumuşak malzeme sıcaklığı} x d (cm)

4.10.PARÇADAKİ GİRİNTİLER VE KALIPTA MAÇA KULLANIMI

Enjeksiyon işleminden elde edilen ürün , enjeksiyon kalıbının iki veya daha fazla parçaya ayrılmasıyla kalıptan alınır. Kalıptan parçanın bir problemle karşılaşmadan

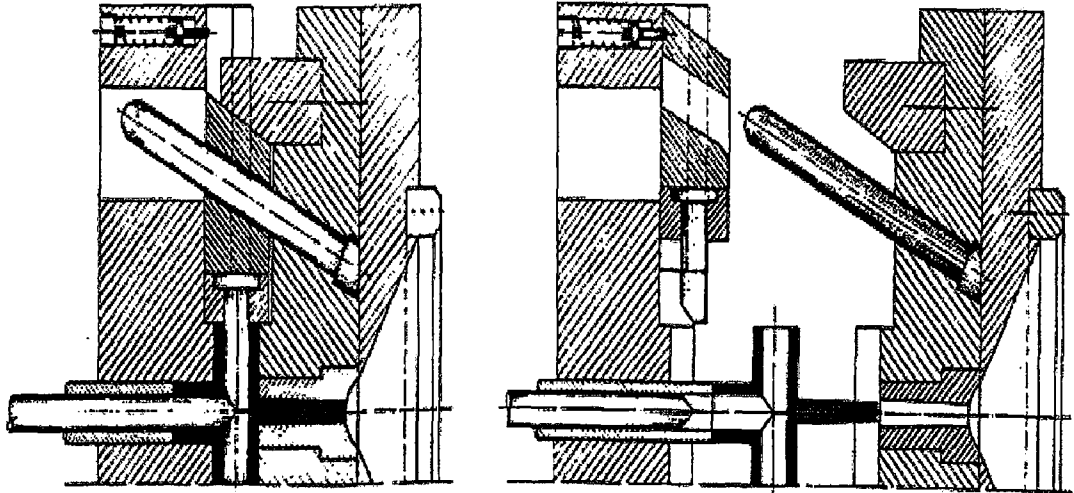
alınması için geometrik sınırlara uyulması gerekir. Bu sebeple, mümkün olduğu kadar tasarımlarda girintili, çıkıntılı yüzeylerden kaçınılmalıdır, aksi takdirde kalıp işlem esnasında kilitlenecektir.

Parça üzerinde girintiler kaçınılmaz ise girintileri oluşturacak şekilde çok daha ayrıntılı kalıba ihtiyaç duyulur. Bu şekildeki bir tasarım enjeksiyon işlemini ve kalıp imalatını zorlaştırır ve daha yüksek maliyet çıkarabileceği gibi parça kalitesini de zayıflatabilir. Basit girintili parçalarda Şekil 4.16'daki yöntem kullanılabilir.



Şekil 4.16. Kayarak kapama yöntemiyle girintilerin oluşturulması

Girintili parçalar için tasarlanan kalıplarda birden fazla kalıp birleşme yüzeyi olmalıdır. Parça üzerinde girintileri çıkaracak şekilde kalıba kenar yüzeylerden hareket edecek kenar göbekler veya piyasada geçen adıyla maçalar kullanılmalıdır(Şekil 4.17).



Şekil 4.17. Mekanik olarak hareket eden kenar göbekli (Maça) kalıp

4.11. MALZEME ÇEKMESİ VE ÜRÜN TOLERANSI

Plastik enjeksiyon kalıp tasarımında dikkat edilmesi gereken diğer önemli hususta, plastik malzemenin çekme değerleridir. Kullanılan her malzemenin çekme değeri aynı olmadığı için tasarımı çekme değerini de düşünerek toleranslı yapmak gerekir. Kalıpta parçayı çıkaracak oyuk ve göbekler öyle imal edilmelidirki enjeksiyon işlemi sonrası ürün istenilen ölçülerde olmalıdır. Malzemelerin çekme değerleri plastiği üreten firmadan temin edilebilir. Çekmeyi etkileyen faktörler aşağıda verilmiştir:

1. Enjeksiyon basıncı.
2. Parça et-kalınlığı; Kalın kesitlerin çekme değeri daha fazla, ince kesitlerin ise daha azdır.
3. Kalıp ve ergimiş plastik sıcaklığı; Soğuk kalıplarda çekme değeri daha az, buna rağmen sıcak ergimiş plastik için ise daha fazladır.
4. Malzemenin oyukta kalma zamanı arttıkça çekme değeri azalır.

5.PLASTİK PARÇA ve KALIP TASARIMINDA BDT

5.1.KALIP TASARIMINDA BGT'İN ÖNEMİ

Bilgisayar yardımı ile kalıp tasarımından elde edilen faydalar şunlardır:

- 1.Verimlilikte artış.
- 2.Kalitede artış.
- 3.Tasarımda ve plastik parça imalatı hızında artış.
- 4.Kaynakların daha etkin kullanılması.

5.1.1.Verimlilik

BDT programlarını kullanarak yapılan kalıp tasarımlarında, 2:1'den 10:1'e kadar değişen oranlarda verimlilikte artış sağlanmaktadır. Grup teknolojisi olarak ta bilinen BDT'nin benzer parça tasarımı için kullanılması yararlıdır. Sonlu-eleman modellemesi gibi diğer araçların da tasarımda kullanılması, prototip ve test amaçlı yapılan imatları azaltarak bütün ihtiyaçlara cevap veren plastik parça tasarımını mümkün kılmaktadır. BDT'da kullanılan yazılım programları aynı zamanda, prototip imalatına gerek bırakmadan ürünün estetik görünüşünü tespit etmekte kullanılırlar.

Verimlilikte elde edilen diğer bir artış ta, tasarlanan kalıbın imalatı aşamasında gerçekleşir. BDT/BDİ teknolojisi, kalıp imalatını gerçekleştirmek için Sayısal-kontrollü (BSK) talaşlı imalat makinalarına bilgi gönderme imkanına sahiptir.

Plastik enjeksiyon prosesinin bir pencereden kontrol edilmesi ve ürün kalitesinde artış, analiz programlarının kullanılması ile sağlanmıştır. BDT ile BDM olarak bilinen mühendislik-analiz çalışmaları beraber yürütüldüğü takdirde verimlilikte oldukça fazla miktarda artış elde edilir. "Soğutma-analizi" ve "Akış-analizi" programlarının kullanılması ile kalıp maliyetlerinde önemli düşüşler elde edilmektedir. Akış analizi programlarının kullanılması ile en uygun yolluk ve meme boyutlarını kalıpta kullanmak mümkündür. Aynı zamanda, plastik akış analizini gerçekleştirerek dengelenmemiş yolluk sistemleri, üründe bir problemle karşılaşmadan tasarımlarda kullanılabilir. Bütün bunlar kalıp ve

imalat maliyetini , malzeme kullanımını ve sonuçta elde edilen ürünün fiyatını düşürerek firmalara piyasada söz sahibi olma şansı tanımaktadır.

5.1.2.Kalite

BDT ile üç boyutlu modelden elde edilmiş kalıp teknik resimlerinin kalitesi el ile çizilenlerden daha fazladır. BDT’da boyutlar tamamen veri tabanında bulunan geometriler ile tanımlanmıştır ve her zaman kalıp istenilen şekilde tasarlanmış ise doğrudur. Kalıp parçalarına verilen toleranslar doğrudan bilgisayar ile hesaplanır ve çok daha az bir hata ile kullanılır.

Ürün boyutlarında değişiklik yapıldığında, BDT ile kalıp tasarımı ve kalıbın kendisinde bir hataya sebep olunmadığı için önemli şekilde kalite artışı sağlanır. Bilgisayar, ürün boyutlarındaki tüm değişiklikleri malzeme çekmesinide göz önüne alarak normalde tasarımcının el ile yaptığı hesaplamaları kalıba otomatik olarak aktarır ve sonuç olarak çok daha az bir hata ile tasarım tamamlanır.

Ürünün boyutsal hassasiyeti, BDT ile sağlanan diğer bir konudur. Analiz programlarının yeterli şekilde kullanılması ile enjeksiyon prosesi kontrol altına alınabilmekte ve parametreler istenildiği gibi değiştirilerek son ürünün kalitesinde artış sağlanmaktadır.

5.1.3.Tasarım ve İmalat Zamanı

BDT programlarının kullanılması ile plastik parça tasarımı, kalıp tasarımı, kalıp imalat zamanı, plastik enjeksiyon seri imalatına başlama zamanında önemli miktarda düşüş sağlanır.BDT ile model ve prototip yapımına gerek kalmadan plastik parça tasarlanır, analiz edilir, teknik ve ekonomik fizibilite açısından değerlendirilir.

5.1.4.Kaynak Kullanımı

BDT ile elde edilen faydaların sonucusu elde olan kaynakların daha iyi kullanılmasıdır. Bilindiği gibi, günümüzde plastik malzemelerin kullanımı sürekli artış

içindedir, buna rağmen sosyolojik nedenlerden dolayı plastik enjeksiyon piyasasında işi iyi bilen becerikli kalıpcı sayısında düşüş olmaktadır. Bu sebeple, enjeksiyon kalıbı imal eden firmalar bundan sonrası için plastik enjeksiyon kalıp imalatını ana işi veya işinin bir parçası olarak sürdürme konusunda karar verme aşamasına gelmişlerdir.

BDT ve BDİ teknolojisi, kalıp tasarımı ve imalatındaki aşırı beceri gerektiren işi kolaylaştırma ve daha önce bu görevi yapan becerili kimselerin diğer görevlere kaydırılarak iş tatminini sağlama dolayısıyla onlardan daha etkin yararlanma olanağı getirmiştir.

5.2.BDT ÖZELLİKLERİ

5.2.1.Grup Teknolojisi

Grup teknolojisi, parçalardaki benzer geometrik unsurların sınıflandırıldığı ve nitelendirildiği bir teknolojidir. Benzer tasarımlarında, daha önce uygun ve anlaşılabilir şekilde programdaki veri tabanına yerleştirilen unsurlar kullanılabilir.

5.2.2.Sonlu Eleman Modellemesi

Sonlu eleman modellemesi malzeme kütesinin dokulara veya sonlu elemanlara bölünerek üzerlerinde çeşitli mühendislik hesaplamalarının yapıldığı bir tekniktir. BDT sistemleri otomatik veya yarı otomatik olarak ürün modelinden sonlu eleman dokularının oluşturulmasını sağlar. Dokularla tanımlanmış ürün modeli analiz edilerek değerlendirilmek üzere grafiksel çıkışlar elde edilir. Düzgün ve isotropik olmayan plastik malzeme özelliklerini (polimer yapısı) sonlu eleman programları kullanılarak analiz etmek mümkündür.

Sonlu eleman modellemesi ile kalıptaki plastik akışı ve ısı transferi doğru bir şekilde tahmin edilmektedir.

5.2.3.Gruplar

BDT yöntemiyle geometrileri grup olarak tanımlamak mümkündür. Örneğin, kalıpta kullanılacak itici pim dört daire ve dört çizgiden oluştuğu kabul edilir ve bunları bir grup olarak tanımlarsak, tasarımda gerektiğinde diğer iticileri yaratırken herbir unsuru teker teker hareket ettirmeden oluşmuş olan grubu bir defada hareket ettirebiliriz.

5.2.4.Modeller

Model tanımı grup tanımına önemli bir ayrıntının dışında benzer.Model oluşturduktan sonra modeli oluşturan unsurlar seçilemez ve değiştirilemez.Bu durum grup yerine model kullanımını dezavantajlı hale getirebilir.Tasarımda model kullanımı ve modellerin tasarımda değişik yerlere yerleşimi daha az zaman alır.

5.2.5.Büyük Ölçekteki Geometrilerin Taşınması

BDT programları ile büyük bloklar ve geometrik olgular biryerden biryere kopyalanabilir, taşınabilir ve bir eksene göre yansıtılabilir. Bu tip sistemlerin en önemli faydası, benzer geometrilerin bir defa oluşturulup gerektiğinde istenilen yere kolayca yerleştirilmesine olanak sağlamasıdır.

5.2.6.Model ve Çizim Modu Arasındaki İlişki

Model ile çizim modunu içeren sistemlerde, ürün modeli tasarımında herhangi bir değişiklik olduğunda tasarıma ait çizimde bundan otomatik olarak etkilenir.BDT sistemlerinde oluşturulan tasarımın çizim olarak çıktısının alınması tasarımcıya zaman kaybı yaratmaz ve güvenilir, hatasız bir teknik resim elde edilir.

Ürün modeli üzerinde herbir geometrik olgu arasında bilgi tabanında bulunan bir bağlantı mevcuttur.Bu sebeple, teknik resimde istenmiyen ölçüler kaldırılarak, özellikle belirtilmesi gereken ölçüler bilgisayar yardımıyla otomatik olarak hesaplanarak

yerleştirilir. Aynı zamanda, çizim modu olan sistemlerde otomatik olarak tolerans analizi yapmak mümkündür.

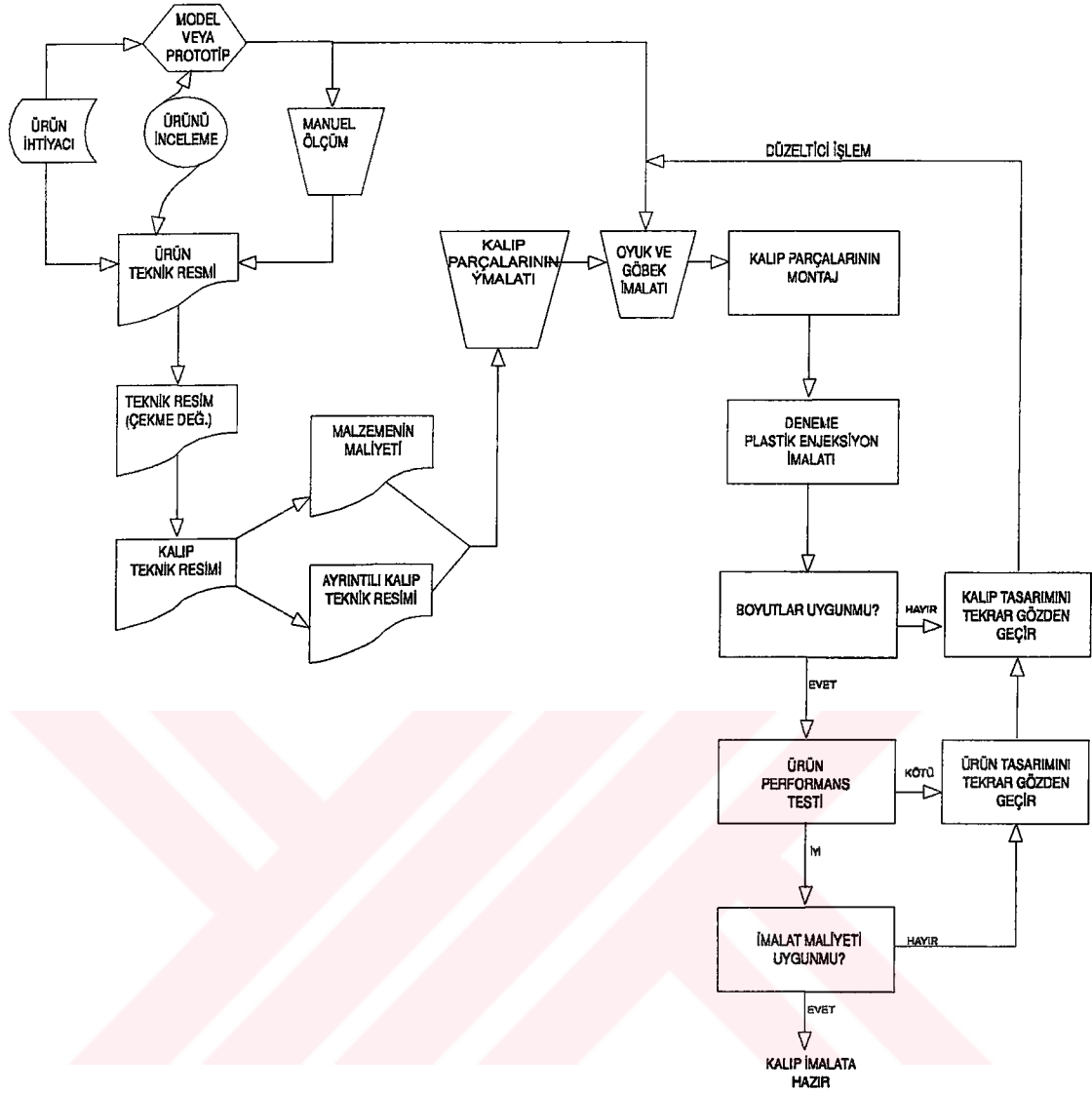
5.3. KONVANSİYONAL TASARIM VE BDT AKIŞ ŞEMALARI

Bu bölümde yapılan değerlendirmelerde plastik ürün tasarımının gerçekleştiği ve parça et-kalınlığının, görünüşünün ve yapısal bütünlüğünün optimize edildiği kabul edilmiştir. Bu kabulü yaptıktan sonra amacımız, gereki olan kapasitede üretim yapabilecek ve kaliteli kalıp tasarımını gerçekleştirmektir.

Şekil 5.1. ve Şekil 5.2’te konvansiyonel ve Bilgisayar destekli tasarım yöntemlerinin akışı gösterilmiştir. Akış şemalarına ilk bakıldığında iki yöntem arasında gerek mühendislik gerekse tasarım metodu olarak oldukça fazla farklılıkların olduğu görülmektedir. Konvansiyonel tasarımda, kalıp tasarımcısının bilgi ve becerisi önemlidir. Bu yöntemle, kalıp imalatı yapıp olumlu sonuca ulaşıncaya kadar iterasyonlar yapılır. BDT yönteminde, bilgisayarda oluşturulmuş veri tabanlarından yararlanılır, analiz programları kalıp tasarımcısının tecrübesini artırır ve iterasyonlar daha kalıp tasarım aşamasında yapılır.

5.3.1. Konvansiyonel Yöntem

Konvansiyonel yöntemle yapılan kalıp tasarımında ürün modeli, ürün geometrisini açıklayacak şekilde teknik resimlerden oluşur. Çoğu zaman, teknik resimlerde standart olarak verilen üç görünüş ürünü açıkça tanımlıyamıyabilir, bu durumda açıklayıcı ayrıntı ve kesit görünüşler resime ilave edilir. Bu bilgilerin dahi yeterli olmadığı durumlar ile zaman zaman karşılaşılır. Sonuçta, bilgiler kalıp tasarımcısına aktarılarak gerçek kalıp tasarımının başlaması sağlanır.



Şekil 5.1. Konvansiyonel yöntemle kalıp tasarımı akış şeması

Daha sonra kalıp tasarımcısı malzemenin çekme değerini dikkate alarak ürün geometrisini tekrar oluşturur. Basit teknik resimlerde bile bütün ölçüler teker teker çekme değeri katsayısıyla çarpılır. Kompleks kalıplarda her boyutu katsayı ile çarpmak

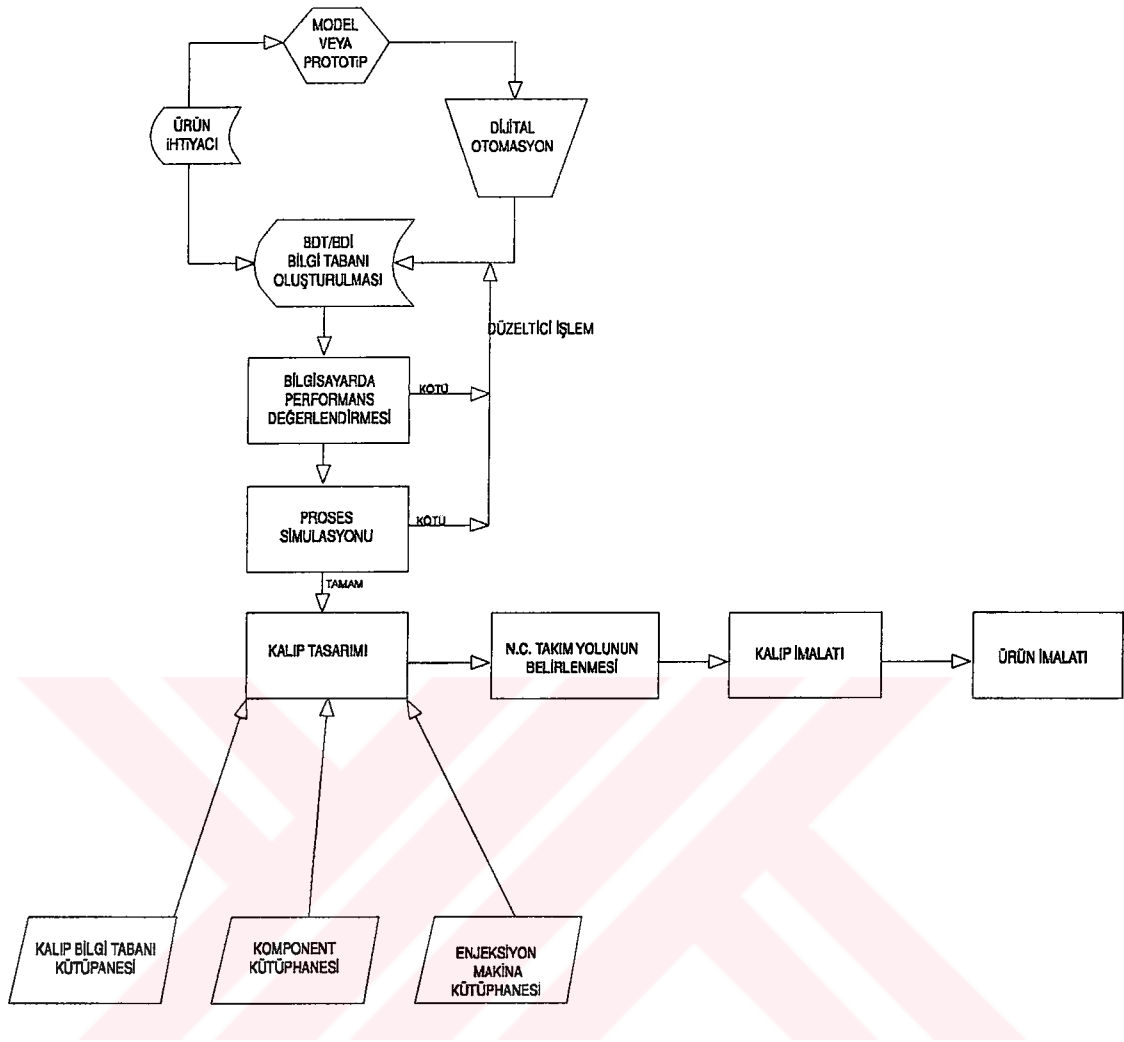
sıkıcı, zaman kaybedici ve hataya sebep olabilecek bir işlemdir. Ürün teknik resmi çekme değeri gözönüne alınarak değiştirildikten sonra kalıp tasarım işlemi başlayabilir.

Kalıp tasarımı aşamasında tasarımcının tecrübesinden oldukça fazla yararlanır. Parçayı oluşturacak oyukların kalıptaki sayısı, memelerin ve soğutma kanallarının yerleşimi belirlenir. Enjeksiyon işleminin kalitesi burada verilen kararlara bağlıdır. Bu kararların kalitesi kalıp tasarımcısının tecrübesi ve kalitesi ile orantılıdır. Aynı zamanda, kalıp tasarımına göre malzemelerin maliyeti çıkarılır.

Tasarımcı daha sonra kalıp ayrıntı resimlerini oluşturur ve imalat atölyesine kalıp parçalarının yapılması için gönderir. Kalıp parçalarının, oyukların ve göbeklerin imalatı yapılır ve ardından da kalıp monte edilir. Daha sonra, kalıp ilk denemenin yapılması için enjeksiyon kalıbına bağlanır. Yapılan deneme sonucu kalıp sorunsuz olarak plastikte dolduruluyorsa bir sonraki işlem olan ürünün boyutsal muayenesine geçilir. Eğer parça boyutları uygun değilse, kalıp imalat atölyesine düzeltici işlem yapılmak üzere geri gönderilir. Uygun sonuç alınıncaya kadar bu işlem tekrar edilir. Çoğu zaman bu aşamada uygun sonuç alınmaz ve kalıp düzeltici işlem görür. Kalıp üzerinde çok miktarda düzeltici işlem yapılmamalıdır, aksi takdirde düzeltici işlemde kaynaklanan gerginlikler kalıbın bozulmasına yol açabilir. Son aşama olarak, elde edilen ürünün maliyeti tespit edilerek hedeflenen miktar ile arasındaki fark belirlenir. Sonuç uygun değilse elimizdeki kalıp hurda olur ve tüm tasarım aşamaları tekrar başlar.

5.3.2.BDT Yöntemi

BDT teknolojisinin kalıp tasarımında kullanılması kullanıcıya bir çok yarar sağlar. Bilgisayar yardımı ile yapılan kalıp tasarımlarında ilk ve en önemli farklılık ürün modelinin bilgisayar tabanlı 3-Boyutlu olmasıdır. 3-boyutlu modelde bulunan bilgiler teknik resimde olan bilgilerden oldukça farklıdır. Model ile ilgili bilgiler bilgisayarın veri tabanında depolandığı için gerektiğinde hiç bir hata ile karşılaşmadan alınabilir.



Şekil 5.2. BDT yöntemiyle kalıp tasarım akış şeması

Model oluşumunda bilgisayardan faydalanılır ve analiz çalışmalarının gerçekleşmesi için aynı bilgisayar kullanılabilir. Kalıp tasarım aşamasında, üründe gerekli et-kalınlığı, enjeksiyon akış uzunluğu, enjeksiyon makinası kapama kuvveti v.b. gibi karar verilmesi gereken tasarım parametreleri vardır. Bu değerlendirmeleri yapabilen

bilgisayar destekli analiz programları kullanılarak kalıp tasarımı öncesi yukarıda belirtilen kararlar verilebilir. Analiz sonuçlarında potansiyel problem gözükürse ürün tasarımı daha bu aşamada değiştirilir. Daha sonra, ürün oluşumunu direk etkileyen yolluk ve meme tipinin belirlenmesine ve yerleşimine geçilir. Günümüzde, meme yerleşimini yapan akış analiz programları mevcuttur. Bu programlar; (1) Bazı bölgelerde enjeksiyondan dolayı oluşan gerginlikleri en aza indirmek, (2) arzu edilen doldurma yolunu belirlemek için meme yerleşimine yardımcı olmak, (3) kaynak ve ergime çizgilerinin ürün üzerinde performansı etkilemeyecek şekilde yerleşmesine olanak sağlamak amacıyla kullanılırlar. Aynı zamanda analiz programları enjeksiyon proses parametrelerini belirlemek içinde kullanılır.

En iyi ürün fonksiyonunu elde edecek şekilde meme yerleşimi yapıldıktan sonra enjeksiyon makinasının nozulu ile kalıp arasındaki ilişki belirlenir. Daha sonra kalıpta bulunması gereken en optimum oyuk sayısı belirlenir.

Bu bilgiler elde edildikten sonra BDT programı bu tasarıma uygun boyutta kalıp ana plakasını tavsiye eder. Gerekli görülür ise boyutlarda değişiklik yapılır. Ardından, BDT programı standart kalıp bilgi kütüphanesinden kalıbın ürün modeli çağırılır. Bir sonraki basamakta kalıp ürün modeli ile parça ürün modeli arasında birleştirme yapılır. Parça geometrisi daha önce ürün tasarımcısı tarafından tanımlanmış ve veri tabanında depolanmıştır. Bütün bu bilgiler ürün modeli üzerinde istenilen yere bir komutla kopyalanır. Daha sonra, malzemenin çekme değeri dikkate alınarak ürün modeli değiştirilir. Eğer plastik malzeme değişmeyen ve devamlı çekme değerine sahip ise ürün boyutları çekme faktörü ile otomatik olarak çarpılır, sonuç grafiksel olarak görülür. Kullanılan malzeme kompleks çekme değerlerine sahip ise her ekseninde farklı çekme değerleri verilir.

Kalıp ürün modeli kalıba başarılı bir şekilde birleştirildikten sonra kalıptaki oyuk blokları tanımlanabilir. Bu noktadan sonra kalıp tasarımcısı yolluk tasarımına başlayabilir. Yolluk tasarımında tekrar analiz programları kullanılır.

Kalıp tasarımında son aşama soğutma sistemlerinin tasarımıdır. Soğutma kanalı tasarımı, su yolları ile itici pimleri arasında geçen gerçek bir yer edinme savaşıdır. Geçmişte, tasarımın bu aşamasında su yollarının geometrisi, sıcaklığı ve yerleşiminin

optimize edilmesi konusunda pek çalışılmamıştır. İtici sistemler daha iyi anlaşıldığı için tasarımcılar ilk olarak itici sistemini kalıp üzerine yerleştirmekte daha sonrada kalan yerlere soğutma kanallarını açmaktaydılar, bu da işlem zamanını arttırmakta ve ürünün maliyetini direk etkilemekteydi.Günümüzde , soğutma analizini yapabilecek bilgisayar programları mevcuttur.Tasarımcı ilk olarak su yolunun boyutuna ve kalıp yüzeyinden olan uzaklığa karar verir. Bu değerler bilgisayara verilir, analiz bilgisayar tarafından yapılarak performans karakteristikleri ve ekonomik etkileri enjeksiyon denemesi yapılmadan belirlenir.Tanımlanan su kanalı boyutlarına ve yerleşimine göre bilgisayar en iyi basınç kaybı ve sıcaklık artışı kombinasyonunu hesaba katarak akış devresini belirler. Daha sonra, bilgisayar uygun bir kalıp soğuması için su sıcaklığını ve soğutma süresini tavsiye eder.

Soğutma sistemi tasarlandıktan sonra kalıpta bulunacak diğer parçalar bilgi tabanı kütüphanesinden alınabilir veya bilgisayarda oluşturulabilir.Ardından, bütün parçaların bilgisayarda montajı yapılarak kalıbın istenildiği gibi çalışıp çalışmadığı kontrol edilir.BDT sistemlerinde yukarıda bahsedilen işlemlerin hepsi bilgisayar ekranından izlenerek yapılır ve sonuçlar uygun ise kalıp imalata verilir.Kalıp imalatı bittikten sonra deneme yapılarak seri enjeksiyon prosesine başlanır.

6.PROSES ANALİZ ARAÇLARI

6.1.TEMEL NOKTALAR

Son yıllarda üretim teknolojisinin hizmetine birçok bilgisayar yazılım programı sunuldu. Bu zaman içerisinde, teorik prensiplerden yola çıkarak gelişen analitik analiz programları plastik enjeksiyon imalatına bilgisayar desteği sağladılar. Birçok problemde bilgisayarın ifadeleri hızlı çözebilme yeteneğinden yararlanıldığında karşımıza maliyetleri de etkileyen araçlar çıkmış oldu. Bu araçlar daha çok kalıp imalatına geçmeden kullanılmasına rağmen, bir sonraki aşamada prosesle ilgili problemleri çözmede de kullanılırlar.

Günümüzde kalıp tasarımına yarar sağlayan üç tip analiz programı vardır.Bunlar:

1. Akış analizi yapanlar.
2. Soğuma analizi yapanlar.
3. Ekonomik analiz yapanlar.

Bu analiz programları BDM grubunun içerisine girerler. BDM teknolojisinde temel metod olarak ilk aşamada tasarım veya proses incelenir.Daha sonra, mühendis bu metodtan yola çıkarak modeli oluşturur. Bilgisayar hızlı bir şekilde verilen parametrelere ve mühendisin tanımladığı modele göre sonucu değerlendirir. Değerlendirme sonuçları bilgisayar tarafından verilir, mühendiste tecrübesine dayanarak tasarımın ne şekilde olmasına karar verir. Bu işlem başarılı bir tasarım elde edene kadar devam eder. Burada görülmektedir ki; Bilgisayar, mühendise işlemlerin hızlı ve güvenilir bir şekilde yapılması konusunda yardımcı olmaktadır.Mühendisin tecrübesi ve becerisi sonucu etkileyen önemli faktördür.

BDM teknolojisi, plastik enjeksiyon işleminde etkin olarak aşağıdaki alanlarda uygulanır;

1. İlk seferde plastik parça veya kalıp fonksiyonlarını elde etme olasılığını arttırmada.
2. Burkulma, boyutsal uygunsuzluk ve uzun işlem zamanı v.b. ile ilgili problemleri çözmede.

3. Kalıp ve enjeksiyon maliyetini azaltmada.

Bu çalışmada akış analizi ile ilgili konular incelenecek ve uygulanada bulunulacaktır.

6.2.AKIS ANALİZİNE GİRİŞ

Akış analizinin temeli kalıp oyuğundaki Newton akışkanı olmayan akışa ve ısı transferine ait denklemlerin eş zamanlı çözülmesidir. Bu programların bilgi tabanlarında piyasada kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri bulunmaktadır. Bu bilgiler, malzemenin reolojik özelliklerinin kontrollü bir ortamda test edilip basınca, sıcaklığa ve kesme oranına bağlı viskozite eğrilerinin oluşturulması ile elde edilir. Eldeki bu verilerden yola çıkarak enjekte edilecek ürünün geometrik modeli oluşturulur ve bu model üzerinde proses şartlarına bağlı olarak doldurma işleminin simülasyonu yapılır. Burada temel olarak sonlu elemanlar metodu (SEM) ile gerçekleştirilen geometrik modelleme kullanılır.

Sonlu elemanlar metodunda enjeksiyonu yapılacak ürünü tanımlayacak şekilde üçgen plakalar kullanılır. Model oluşturulduktan sonra bir veya birkaç meme, elde edilmiş doku üzerindeki noktalara yerleştirilir. Daha sonra, değişik proses koşulları için analiz başlatılır. Bilgisayar bu koşullara göre akış ve ısı transferi ile ilgili olan ifadeleri teker teker çözer.

Akış analiz programları ürün geliştirme işleminde üç farklı grup tarafından başarılı bir şekilde uygulanır ve kullanılır. Bu gruplar: (1) Ürün tasarımcısı, (2) Kalıp tasarımcısı ve (3) Enjeksiyon imalatçısıdır.

6.2.1.Ürün Tasarımcısı

Ürün tasarımcısı aşağıdaki soruları yanıtlamak için akış analizini kullanır:

1. Parça tamamen doldurulacak mı?
2. Parçaya uygulanacak en fazla kalınlık ne olmalıdır?
3. Memeler uygun şekilde yerleştirilebilir mi?

6.2.2.Kalıp Tasarımcısı

Akış analiz programları kalıp tasarımcısı tarafından aşağıda gösterilen iyi bir tasarım için gerekli olan hedefleri belirlemede kullanılır:

1. Parçanın iyi bir şekilde doldurulması.
2. En uygun meme yerleşimi ve sayısının belirlenmesi.
3. Yolluk sisteminin başarılı bir şekilde tasarlanması.
4. Düzeltici işlem maliyetlerinin azaltılması.

6.2.3.Enjeksiyon İmalatçısı

Enjeksiyon imalatçısı, ürünün maliyeti, kalitesi ve işlenebilirliği ile ilgili aşağıdaki yararları akış analizinden sağlar.

1. Geniş ve sabit proses “Penceresi”.
2. Ürünün burkulması ve gerginliklerde azalma.
3. Plastik malzeme kullanımında azalma.
4. Yolluk boyutlarının / Tekrar taşıma maliyetlerinin azalması.

6.3.PLASTIĞIN KALIBA AKIŞI

6.3.1.Temel Akış Analizi

Ergimiş plastik malzemenin kalıbın içine akışı iki temel fiziksel çerçeve içerisinde incelenir: (1) Akış ifadeleri, (2) Isı transferi ifadeleri. Bu ifadeler Newton integrasyon tekniğine göre çözülen genel ifadelerdir ve yaklaşık olarak nümerik çözüm ile geliştirilirler.

Enjeksiyon işlemi üç bölüme ayrılır: doldurma, sıkıştırma ve telafi edici akış. Üç bölümde de yaklaşım aynıdır. Doldurma işleminde ya basınç verilir, akış oranı hesaplanır

ya da akış oranı verilir, basınç hesaplanır. Sıkıştırma ve telafi edici akışlarda tutma basıncı verilir ve sonuçtaki akış hesaplanır.

Akış ifadelerinin kullanımını göstermek amacıyla ince kesitli dikdörtgen bir parça örnek olarak verilmiştir. Bu blok üzerindeki ufak bir elemanda basınç ve kesme mukavemeti arasındaki ifade aşağıdaki gibidir;

$$\text{Mukavemet} = (\text{Basınç farkı} \times \text{Kalınlık}) / (2 \times \text{Uzunluk}) \quad (6.1)$$

Bu ifade kuvvetleri çözümede kullanılan temel ifadedir ve malzeme veya akış karakteristiklerinden bağımsızdır.

Bilgisayar programının bilgi tabanında viskozite ile ilgili bilgiler bulunmaktadır. Bilindiği gibi viskozite ile sıcaklık, basınç, kesme oranı v.b. arasında karmaşık bir ilişki vardır. Verilen bu örnekte sıcaklık ve kesme mukavemeti biliniyorsa viskozite (veya kesme oranı) kolaylıkla bulunabilir.

Akış ile ilgili hesaplamalar, plastiğin duvar ile temaste bulunduğu ve hızın sıfır olduğu dış kenardan başlar. Püskürtme gibi normal olamayan etkiler yok sayılır. Dikdörtgen blok ince dilimlere ayrılır. Dış bloğun yüzeyindeki hız sıfırdır. Hızdaki artış (kesme oranı x dilimin kalınlığı) ile bulunur. Böylece iç yüzeydeki hız tespit edilmiştir. Diğer dilime geçerek hızdaki artış aynı yöntemle tespit edilir. Bu işlem tüm blok için tekrar edilirse, tamamıyla kesitteki hız dağılımı belirlenmiş olur. Her bir dilimin hızı ile kesit alanı çarpılır ise dilimdeki hacimsel akış ve bu değerler herbir dilim için bulunup toplanırsa toplam debi bulunur.

Sonuçta, eğer kesitteki sıcaklık ve kesme oranı ile kesme mukavemeti arasındaki ilişki biliniyorsa verilen bir basınç değeri için akış oranı hesaplanabilir.

Isı transferi ile ilgili ifadeleri çözmek için yine aynı dilimlerden faydalanılır. Dört temel ısı akışı mevcuttur.

1. İçeriye doğru iletim ile ısı transferi.
2. Dışarıya doğru iletim ile ısı transferi.
3. İçeriye doğru akış ile ısı transferi.
4. Sürtünme ile oluşan ısı.

Isı transferi analizini yapmak için akış ile ilgili hesaplamaların yapılmış olması gerekmektedir. Akış hesaplamalarının yapılması için de sıcaklık dağılımının bilinmesi gereklidir. Bu işlem plastiğin kesite girdiği ve sıcaklığın ergime sıcaklığına eşit olduğu bölgede hızın hesaplanması ile çözülebilir. Daha sonra, az bir zaman aralığı için bilinen hız dağılımı ile yeni sıcaklık dağılımı hesaplanır. Kalıp dolduruluncaya kadar bu işlemler tekrar eder.

6.3.2. Sonlu Eleman Teknikleri

Sonlu elemanlar tekniği, yapısal analizlerde sıkça kullanılmaktadır. Temel prosedür olarak yapı birbirlerine düğüm noktalarında bağlanan ufak elemanlara bölünür. İç gerginlik ve gerilmeler düğüm noktalarında basit ifadeler ile kuvvet ve yer değiştirmelere bağlanır. Herbir eleman için bu ifadeleri guruplamak çok fazla miktarda ifadeyi meydana getirir ve bu ifadeler düğüm noktalarındaki kuvvetleri ve yer değişimlerini daha sonrada tüm yapıdaki kuvvet ve yer değişimini tespit etmekte kullanılır.

Akış analizinde de yöntem aynıdır. Herbir eleman için, düğüm noktalarındaki akış ve basınç arasındaki ilişki belirlenir, bütün oyuk için bu ilişki gruplanır ve bütün ifadeler çözülür. Bunu yapmak için sınır durumları bilinmelidir (her düğümdeki akış ya da basınç).

Sonlu elemanlar tekniğindeki esas nokta sınır durumlarının belirlenmesidir. Herbir düğüm noktasında bir durum mutlaka verilmelidir. Basınç verildiğinde debi, debi verildiğinde basınç hesaplanır. Basamak basamak analizi gerçekleştirilmede bir yaklaşımda başlangıçtaki akış yolu tahmininin yapılmasıdır. Akış yüzünün parçası olmayan herbir düğüm noktasındaki toplam akış ve akış yüzünün parçası olan herbir düğüm noktasındaki basınç sıfır kabul edilir. Bu yaklaşım ile ifadeler çözülür ve akış yüzünün herbir noktasında debi diğer noktalarda basınç tespit edilir. Akış yüzündeki debinin bilinmesi yeni bir akış yüzünün yerleştirilmesine olanak sağlar, yeni doku oluşturulur ve bu prosedür kalıp dolduruluncaya kadar devam eder. Analiz programlarında dokuların oluşturulması zaman alıcı bir görevdir. Günümüzde bu görevi gerçekleştiren otomatik doku oluşturucular bulunmaktadır.

6.4. C-MOLD® ANALİZ PROGRAMI

6.4.1. Temel Noktalar

C-Mold® akış analiz programı, ergimiş polimer malzemenin enjeksiyon işlemi sırasındaki akışkan akışı ve ısı transferi dinamiğinin simülasyonunu gerçekleştirir. Cornell enjeksiyon işlemi programından gerçekleştirilmiştir. C-Mold® akış analiz programı sıcak veya soğuk, dairesel veya dairesel olmayan yolluk içeren üç boyutlu, ince kesitli sistemlerin çözümü için kullanılabilir. Kısa atışlar, istenmeyen kaynak noktaları, hava sıkışmaları gibi birçok potansiyel problem daha kalıp tasarım aşamasında belirlenir. C-Mold® akış analiz programı aynı zamanda proses mühendisleri ve kalıp tasarımcıları içinde yol göstericidir. Meme yerleşimi, yolluk boyutları ve parça et-kalınlığı C-Mold® analiz programı yardımıyla belirlenebilir. Bunların yanında, optimum proses şartları (doldurma zamanı, plastik sıcaklığı v.b.) C-Mold® proses penceresinden belirlenebilir.

C-Mold® analiz programı, izotermal olmayan viskoz polimerik eriyiğin Hele-Shaw akışı ile modellenir. Veri giriş dosyasında sıkıştırılabilen malzeme özellikleri belirtilmiş ise analiz yapılırken zayıf-sıkıştırılabilen Hele-Shaw modeli kullanılır. Analiz aynı zamanda parça et-kalınlığı üzerinde temel sınır şartlarını otomatik olarak kontrol eder. Eğer simetrik olmayan termal sınır şartları bulunursa, sıcaklık ve akış alanları parçanın tam et-kalınlığı üzerinde çözülür.

6.4.2. Hedefler

Tasarımcılar ve mühendisler C-Mold® analiz programından aşağıdakileri hedefler;

1. Oyuktaki akışı dengeleyecek şekilde parça et-kalınlığını değiştirmek.
2. Memelerin yerleşimini ve miktarını belirlemek.
3. Yolluk sistemini dengelemek.
4. Yolluk boyutunu en aza indirmek.

5. Kaynak noktalarını ve mukavemetlerini belirlemek.
6. Hava sıkışmalarını ve havalandırma yerlerini belirlemek.
7. Optimum proses şartlarını belirlemek.
8. Parçanın akış oriyantasyonunu belirlemek.
9. Tahmini kapama kuvveti ve atış ağırlığı ile enjeksiyon makinasının boyutunu belirlemek.
10. Yüksek gerginlik ve sıcaklık içeren bölgeleri belirlemek.
11. Alternatif tasarım seçeneklerini araştırmak(sıralı meme valfinin açılması v.s.).
12. Yüzey düzgünlüğünü arttıracak ve burkulmaları azaltacak şekilde burgu-hızı profilini belirlemek.

6.4.3. Özellikler

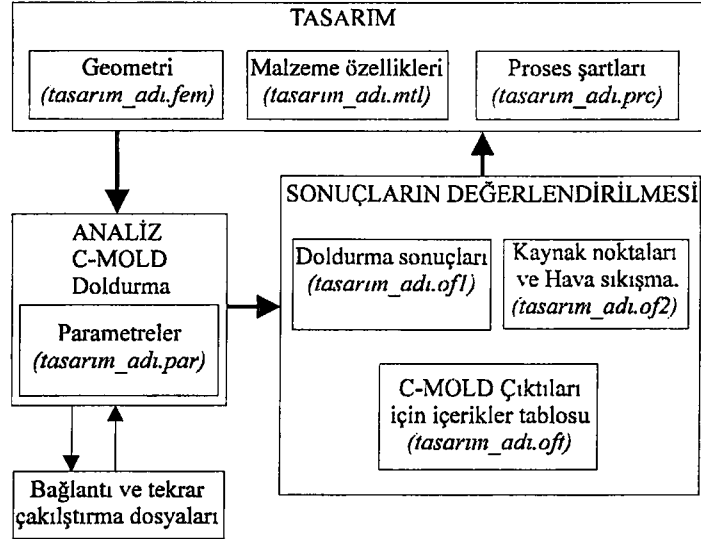
C-Mold® doldurma akış analizi programında aşağıdaki önemli bazı özellikler bulunmaktadır.

1. Memelerdeki birleşme kayıplarının otomatik hesaplanması.
2. Burgu-hızı profili ve eriyik-yüzü hızı hakkındaki bilgilerin verilmesi.
3. Model boyutu sınırsızdır.
4. Analiz hem sıkıştırılabilir hemde sıkıştırılmaz akış hesaplamalarını gerçekleştirir.
5. Analiz 8,10,12,14,16,18,20 tabakalı parça et-kalınlığını kabul eder.
6. 3.000'den fazla malzeme ile ilgili bilgiler, programın polimer veri tabanında bulunmaktadır.

Şekil 6.1'de C-Mold® doldurma analiz programının basamakları gösterilmektedir.

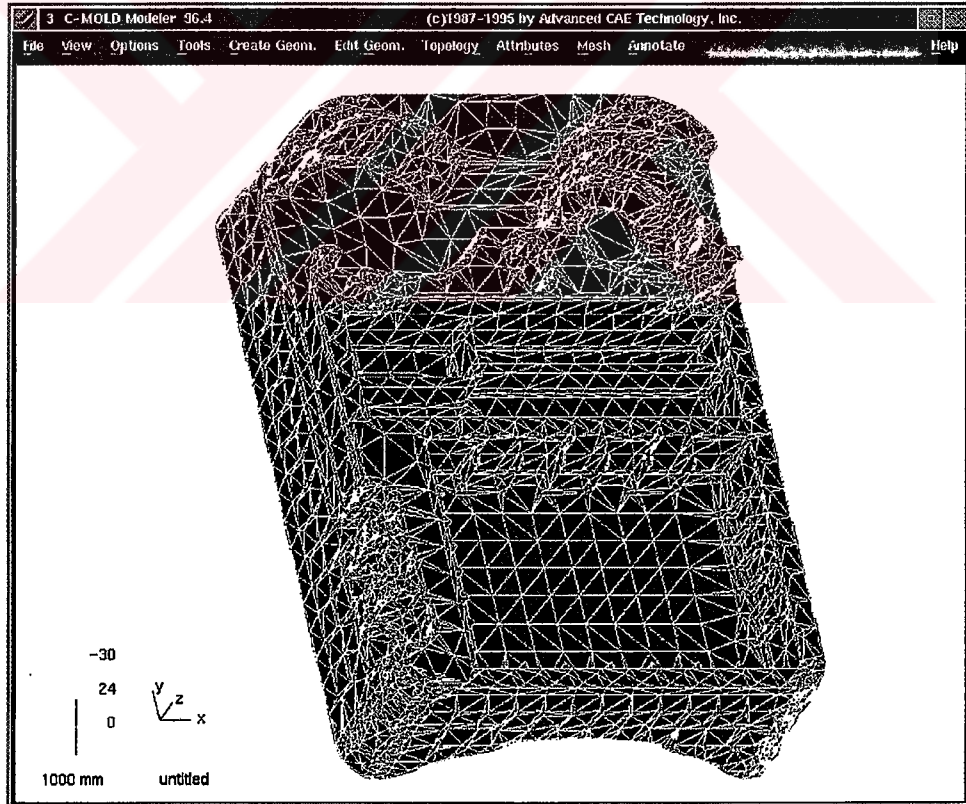
6.5. TASARIMIN HAZIRLANMASI

C-Mold® doldurma analizi programında analizi gerçekleştirmeden önce tasarım hazırlanmalıdır. Bir C-Mold® tasarımı, analizde kullanılacak giriş verilerini içerir. Gerekli olan bilgiler şunlardır:



Şekil 6.1. C-Mold Doldurma® Tasarım basamakları

Sonlu eleman dokusu (Geometri).Programın kontrol panelinden seçilir, yaratılır veya düzeltilir. Bu bilgiler daha sonra *tasarim_adi.fem* dosyasına kaydedilir(Şekil 6.2.)



Şekil 6.2. C-Mold Sonlu-eleman dokusu(geometri)

2. Malzeme özellikleri: Burada plastik, soğutucu ve kalıp malzemesi belirlenir. Bu bilgiler daha sonra *tasarım_adi.mtl* dosyasına kaydedilir.
3. Proses şartları: Burada enjeksiyon makinası ve proses şartları belirlenir. Bu bilgiler daha sonra *tasarım_adi.prc* dosyasına kaydedilir.

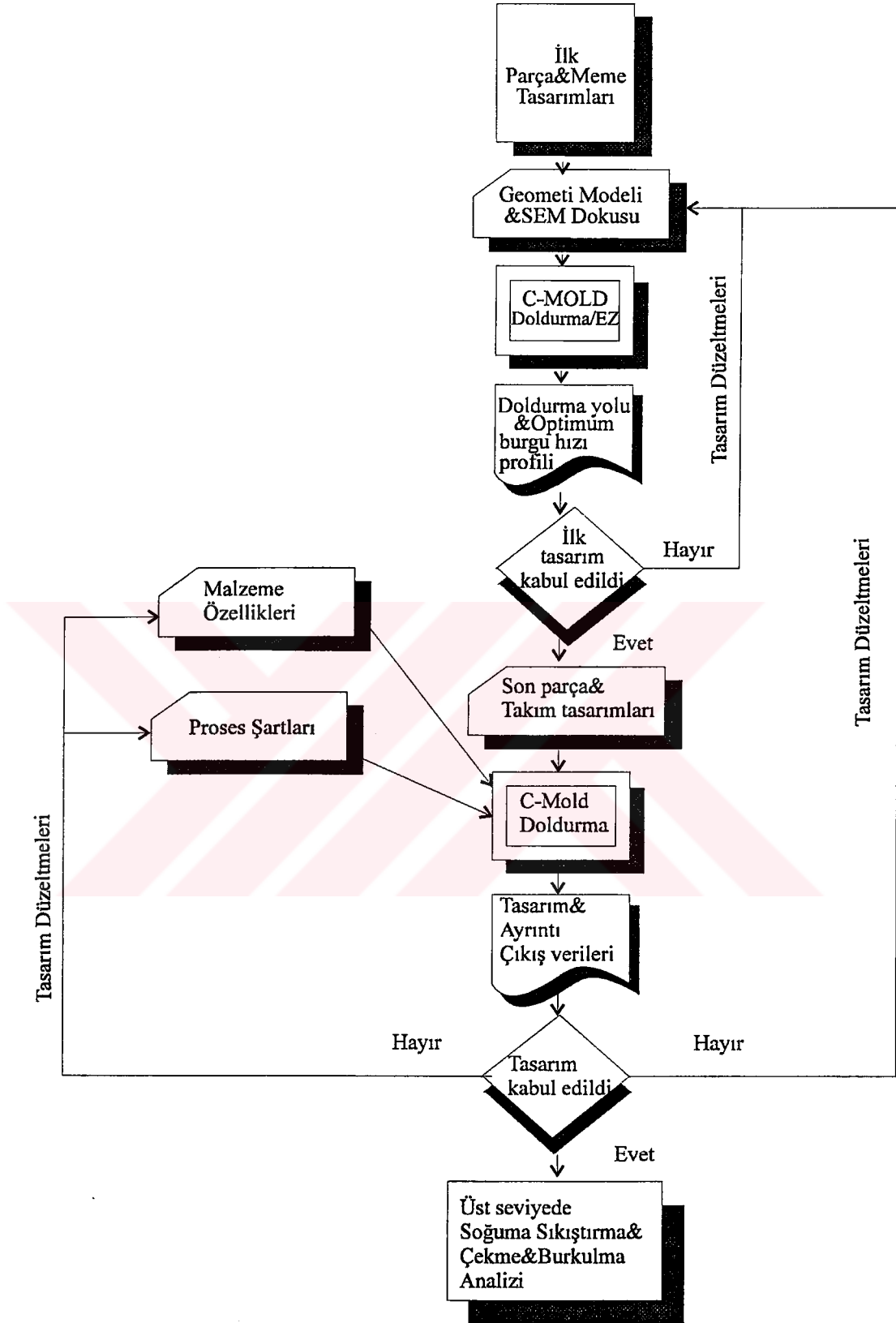
Şekil 6.3'te C-Mold[®] doldurma analizi programının tasarım akış şeması verilmiştir.

6.5.1. C-Mold Programında Kullanılan Malzeme Özellikleri

Aşağıda analiz programında kullanılan malzeme özelliği modelleri verilmiştir. Bu modeller, plastik malzemenin oyuğa doldurulması esnasında malzeme davranışlarını tanımlamak için araştırmacılar tarafından uygun bulunmuştur.

- Polimer malzeme tanımı.
- Sabit polimer yoğunluğu.
- Sabit polimer özgül ısısı.
- Sabit polimer termal iletkenliği.
- Polimer viskozitesi.
- Deneysel bağlantı kayıpları.
- Geçiş sıcaklığı.

Malzeme bilgileri C-Mold akış analizinin hassasiyetini belirleyen en önemli faktörlerden biridir. AC Technology ve Cornell Injection Molding Progame(CIMP) beraberce BDM uygulamalarında kullanılacak şekilde malzemelerin işlem özelliklerini belirleyen sistematik bir prosedür geliştirmişlerdir. Böylece, kullanıcılar ellerindeki malzemeleri buraya göndererek işlem özellikleri ile ilgili ayrıntılı bilgi elde edebilmektedirler.



Şekil 6.3. C-Mold® analiz programı tasarım akış şeması

6.5.2. C-Mold Programında Kullanılan Proses Koşulları

Aşağıda belirtilen dört proses şartı ve diğerleri verilmediği takdirde doldurma işlemi esnasında burgu hızı profili sabit kabul edilir:

1. Doldurma zamanı
2. Ergimiş malzeme giriş sıcaklığı.
3. Debi kontrolünden basınç kontrolüne (D/P) geçilecek % hacim.
4. Soğutucu manifold kontrolü.

Aşağıda bu proses şartları ve diğerleri hakkında kısa bilgiler verilmiştir;

- **Doldurma zamanı:**

Doldurma zamanı, burgu-hızı profiline bağlı olarak polimer malzemenin oyuğun tamamını doldurması için gerekli olan zamandır. Gerçekte olacak doldurma zamanı belirtilen burgu-hızı profilinde işlem gerçekleştiği takdirde burada verilen değere eşit olur.

- **Ergimiş Malzeme Giriş Sıcaklığı:**

Bütün girişlerde sabit malzeme sıcaklığı olduğu varsayılır. Gerçekte, bu değer sürtünmeden dolayı enjeksiyon makinasında verilen değerden yüksektir. Sıcaklık, malzeme özelliği ve enjeksiyon hızına bağlı olarak 30°C kadar yükselir.

- **Debiden Basınç Kontrolüne Geçiş:**

Bu değer, makinanın doldurma esnasında debi kontrollü (burgu-hızı profilli) akıştan basınç kontrollü akışa geçeceği toplam hacim değeridir. Bu değer verilmesi ile doldurma prosesi sonunda basınç artışından dolayı olacak hatalar engellenir.

- **Soğutucu Manifold Kontrolü:**

Bu bilgi özellikle C-Mold soğuma analizinde® kullanılır. Manifold tanımı, soğutucu giriş sıcaklığı, toplam debi, toplam basınç kaybı ve soğutucu malzeme tanımını içerir.

Doldurma analizi programında bu ayrıntılar verilmemişse kalıp sıcaklığı sabit kabul edilerek analiz gerçekleşir.

- **Burgu-Hızı Profili:**

Burgu-hızı profili belirtilen doldurma zamanına bağlıdır. Buradaki bilgiler vuruş yüzdesi ve hız yüzdesidir.

6.6. ANALİZİN ÇALIŞTIRILMASI

Analiz çalıştırmadan önce bir önceki bölümde belirtilen bilgiler girilmelidir. Daha sonra, analiz ile ilgili parametreler gerektiğinde düzeltilebilir;

- **Et-Kalınlığındaki Tabaka Sayısı**

Bu parametre tabaka sayısını belirler. Termal sınır şartlarına bağlı analizde kullanılacak tabaka sayısı belirtilen değer yada bu değer yarısıdır. Sıcaklık, hız, kesme oranı ve viskozite gibi değişkenler tabaka sınırlarında belirlenir. Analizde kullanılacak tabaka sayısı arttıkça daha hassas sonuçlar elde edilir fakat analiz zamanı artar.

- **Tasarım Çıktılarının Sayısı**

Tasarım çıktıları eriyik-yüzünün gelişimi, malzeme sıcaklığı, kesme oranı, malzemedeki gerginlikler v.s. gibi doldurma esnasında çıktıların kaç kez kaydedileceğini belirler.

- **Ayrıntı Çıktılarının Sayısı**

Ayrıntı çıktıları, özel durumlarda et-kalınlığındaki ayrıntıları belirlemek için kullanılır. Sıcaklık, hız gibi veri grupları herbir tabakada kaydedilir.

6.7. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

C-Mold doldurma analizi® tamamlandığı zaman, sonuçlar değerlendirilmenin yapılması için hazırdır. Sonuçlar verinin tipine göre grafiksel yada metinsel olarak verilir. Değerlendirme sonucuna göre tasarımda gerekli düzeltmeler yapılır ve uygun sonuç alınıncaya kadar bu işlem devam eder.

6.7.1. Grafiksel Çıktılar

Aşağıda analiz sonucunda elde edilen grafik çıktılarının bazıları hakkında açıklama verilmiştir.

- **Basınç**

Bilindiği gibi basınç birim alana uygulanan normal kuvvet olarak tanımlanır. Eldeki formülasyona göre basınç, ürünün et-kalınlığına bağlı değil, boyuta ve zamana bağlıdır. Doldurma işleminin başlangıcında basınç kalıbın her yerinde sıfırdır. Belirli bir noktada ergimiş plastiğin ulaşmasıyla basınçta artış meydana gelir.

Doldurma esnasında değişmeyen basınç gradyanları tercih edilir. Değişen basınç gradyanları ürün üzerinde parlaklık ve aşırı çekmeler gibi problemler ortaya çıkarır.

- **Eriyik-Yüzü İlerlemesi**

Eriyik-yüzü ilerlemesi her bir düğüm noktasına eriyik-yüzünün ulaştığı zamanı gösteren dağılım grafiğidir. Eriyik-yüzü ilerlemesinden dengelenmiş akış elde edecek şekilde meme yerleşimi ve parça et-kalınlığı ayarlanabilir.

- **Bütünsel Sıcaklık**

Polimer malzemenin sıcaklığı zaman ve koordinatlara bağlı olması yanında ürünün et-kalınlığı ile de ilgilidir. Bütün bunları tek bir gösterimde sunmak imkansızdır. Bunun yerine, et-kalınlığı üzerinde ortalama sıcaklığı gösterecek şekilde bütünsel sıcaklık

tasarım çıktısı kullanılır. Bütünsel sıcaklık, belirli bir yerden taşınan enerjiyi gösterir ve ölçülebilen bir değerdir. Parçanın bütünsel sıcaklığı aşağıdaki ifade ile tanımlanır (C-Mold Filling Guide®);

$$T_{büt} = T_{ort} + \frac{\int_0^h u(T - T_{ort}) dz}{\int_0^h u dz} \quad (6.2)$$

Diferansiyel sıcaklık aynı zamanda değişken çekmelere ve burkulmalara sebep olabilir. Doldurma esnasında değişmeyen bütünsel sıcaklık dağılımı kalıp tasarımı için arzu edilir.

- **Duvar-Kesme Mukavemeti**

Duvar-kesme mukavemeti kalıp duvarındaki birim alana uygulanan kesme kuvveti olarak tanımlanır ve her bir noktadaki basınç gradyanları ile orantılıdır. Elimizdeki viskoz akış formülasyonuna göre kesme mukavemeti yolluk merkezinde veya parçanın orta-düzleminde sıfırdır ve kalıp duvarına doğru lineer bir şekilde artar.

- **Temsili Kesme Oranı**

Sıcaklık gibi kesme oranında et-kalınlığı ile değişir. Temsili kesme oranı doldurma işlemi sırasındaki kesme-oranı dağılımını gösterir. Buradan elde edilecek sonuçlara göre yüksek kesme oranına ve sürtünmesel sıcaklığa sahip olacak bölgeler belirlenir. Temsili kesme oranı polimer resin üreticisinin tavsiye ettiği değeri geçmemelidir.

- **Donmuş-Tabaka Oranı**

Bu değer donmuş tabakanın et-kalınlığına oranıdır. "0" ile "1" arasında değişir. Yüksek değerler kalın donmuş tabakayı ifade eder. Donmuş-tabaka kalınlığının akış direncine etkisi çok önemlidir.

- **Eriyik-Yüzü Hızı**

Eriyik-yüzü hızı, eriyik-yüzünün ilerleme hızının dağılım grafiğidir. Sabit burgu-hızı profilinde, eriyik-yüzü hızı doldurma esnasında değişen eriyik-yüzü alanına göre değişir. Genelde, eriyik-yüzündeki (Fountain bölgesinde) yüksek hız, bu bölgede yüksek yüzey gerilimi anlamına gelir. Bu sebeple, tasarım stratejisi olarak burgu-hızı profili sabit eriyik-yüzü hızı olacak şekilde ayarlanmalıdır. C-Mold doldurma akış analizi programı® eriyik yüzü hızını sabit tutacak şekilde burgu-hızı profilini tasarım çıktısı olarak sunar.

- **Eriyik-Yüzü Alanı**

Eriyik-yüzü alanı, ilerleyen eriyik-yüzünün kesit alanı olarak tanımlanır.

- **Ortalama Akış Boyu**

Ortalama akış boyu, doldurma esnasındaki herbir zaman aralığında eriyik-yüzü hacminin, eriyik-yüzü alanına bölümünün birikimidir. Uzun akış boyu, yüksek doldurma basıncı demektir.

- **Kaynak Noktaları ve Birleşme Noktaları**

Kaynak noktası, farklı yönlerde ilerleyen ve biryerde buluşan eriyik yüzlerinin bir oluşumudur. Birleşme noktası ise aynı yönde ilerleyen eriyik yüzlerinin birbirleri ile birleşmesinden meydana gelir.

6.7.2. Metinsel Çıktılar

C-Mold® programında grafiksel çıktıların yanında aşağıda belirtilen metinsel çıktılarda verilir. Buradaki çıktılar; analizde kullanılan giriş verilerini, bütün hata/uyarı mesajlarını, bazı büyüklüklerin doldurma sırasındaki ve sonundaki istatikleri özetler.

- Parametreler
- Malzeme özellikleri
- Proses şartları

- Sonlu-Eleman dokuları
- Hata/Uyarı mesajları
- Doldurma raporu
- Analiz akış dosyası

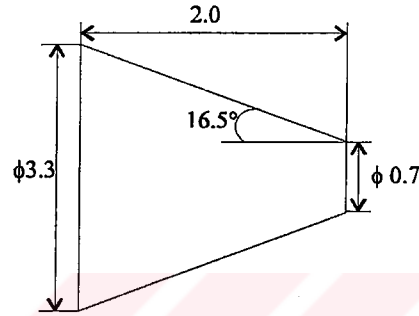
6.8. İNCELEME ÇALIŞMASI

Bu çalışmada, plastik enjeksiyon ile imalatı yapılacak bir parçanın kalıp tasarımını gerçekleştirecek şekilde bilgisayar destekli tasarım ve mühendislik teknolojileri kullanılmıştır. İlk aşamada, ürünün BDT ile üç boyutlu modeli oluşturulmuştur. Daha sonra, oluşturulan bu model plastik enjeksiyon simülasyonu yapılmak üzere C-Mold® BDM programına aktarılmıştır. Ürünün üç-boyutlu modeli Pro/Engineer® katı modelleme programı ile oluşturulmuştur. Plastik enjeksiyon doldurma simülasyonu aşağıdaki şartlar gözönüne alınarak gerçekleştirilmiştir;

- Ürün malzemesi : General Electrics ABS, CYCOLOC Grade T
- Kullanılacak enjeksiyon makinası : Battenfeld-BA500 CDK
- Kalıp kapama kuvveti enjeksiyon makinasının limitleri içerisinde olacak
- Akış-boyu en az olacak
- Enjeksiyon basıncı mümkün olduğunca az olacak
- Kalıp iki plakalı-soğuk yolluklu ve iki oyuklu olacak
- Kalıp sıcaklığı 45°C olup kalıbın her yerinde sabit kabul edilecek
- Malzemenin kalıba giriş sıcaklığı 220°C kabul edilecek
- Doldurma zamanı 3 saniyeden az olacak
- Çıkıntılarda kaynak noktalarına izin verilecek
- Hava sıkışmaları parçanın kenarlarında olacak
- Kullanılacak polimer malzeme miktarı en az olacak
- Tasarımdaki ürün boyutları değişmeyecek

Ürünün malzemesi ve kullanılacak enjeksiyon makinası ile tüm özellikler C-Mold® veri tabanından alınmıştır.

Plastik enjeksiyon doldurma analizi iki farklı kalıp tasarımı düşünülerek gerçekleştirilmiştir. Her iki tasarımda da malzeme ürüne iki değişik kenardan aynı boyutlarda iğne-uçlu meme ile verilmiştir. Meme boyutları şekil 6.4'te verilmiştir. Malzemenin taşındığı yolluk tam dairesel tasarlanmış ve çapıda üründeki en fazla et-kalınlığı 1.8mm olduğu için 3.3mm verilmiştir (Yolluk çapı = $S_{max} + 1.5mm$). Ergimiş polimer malzemeyi enjeksiyon makinasından alarak yolluklara taşıyan besleme kanalı giriş çapı 3.0mm ve kanal açısı 0.5° tasarlanmıştır.



Şekil 6.4. Tasarımdaki meme boyutları

Pilkapak2 ve pilkapak3 adında iki farklı tasarım için analiz gerçekleştirilmiştir. Pilkapak2'de ergimiş plastik, oyuğa ürünün tam ortasından, pilkapak3'te ise çıkıntılarının olduğu kenardan verilmiştir. Analizlerin grafiksel çıktıları EK1'de verilmiştir.

6.8.1. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Analiz sonuçları değerlendirildiğinde pilkapak2 adlı tasarımın daha uygun olduğu görülmektedir. Her iki analizde de doldurma zamanı 3 saniye ve ergimiş polimer malzemenin kalıba giriş sıcaklığı $220^\circ C$ olarak kabul edilmiştir.

◆ Enjeksiyon basıncı ve Kapama kuvveti

Analiz sonuçlarına göre, pilkapak2 adlı tasarımda kalıbın tamamıyla doldurulması için enjeksiyon makinası tarafından uygulanması gereken enjeksiyon basıncı en fazla 115.08 MPa ve kapama kuvveti 38.98 ton , pilkapak3 adlı tasarımda ise aynı değerler

124.10 MPa ve 45.3 ton olarak tespit edilmiştir. Her iki tasarımda, olması gereken değerler kullanılacak enjeksiyon makinası için uygun değerlerdir. Fakat, tasarım için karar verilirken enjeksiyon basıncı ve kapama kuvveti dikkate alındığında pilkapak2 adlı tasarım uygun olacaktır. Bunun sebebi, pilkapak2 adlı tasarımda kalıp her zaman pilkapak3 adlı tasarıma göre daha çabuk dolacaktır. Pilkapak2 adlı tasarımda enjeksiyon basıncında %7.3, kapama kuvvetinde ise % 13.95 düşüş sağlanmıştır.

◆ **Toplam ağırlık**

Herbir baskıda yolluklarda ve oyuklarda bulunacak polimer malzeme miktarı pilkapak2 adlı tasarımda 22.397 gr, pilkapak3 adlı tasarımda ise 22.872 gr olarak bulunmuştur. Bu durumda pilkapak2 adlı tasarımda kullanılacak polimer malzeme miktarı % 2.07 daha az olacaktır.

◆ **Ergimiş Polimer Malzemenin Oyuklara Ulaştığı Zaman**

Ergimiş polimer malzemenin enjeksiyon makinasından kalıba girip yolluklar ve memeden geçerek oyuklara ulaşması için geçen zaman pilkapak2 adlı tasarımda toplam doldurma zamanının % 3.6'sı kadar, pilkapak3 adlı tasarımda ise %5.4'ü kadardır. Yani, pilkapak2 adlı tasarımda polimer malzeme kalıba pilkapak3 adlı tasarıma göre daha erken girer.

◆ **Bütünsel sıcaklık**

Oyukta oluşan en fazla ve en az polimer malzeme bütünsel sıcaklığı pilkapak2 adlı tasarımda 223.6°C ve 110.1°C , pilkapak3 adlı tasarımda ise 240.5°C ve 104.6°C tespit edilmiştir. Buna göre, pilkapak3 adlı tasarımda ergimiş polimer malzemenin sürekli olarak kalıp içerisindeki akışı daha iyidir, fakat, en az sıcaklık ile en fazla sıcaklık arasındaki fark dikkate alındığında pilkapak2 adlı tasarım daha iyidir.

Diferansiyel sıcaklık farklılıkları değişen çekme ve burkulma problemlerine sebep olabilir.

◆ Duvar-Kesme Gerilimi

Kalıp duvarında oluşan en fazla kesme gerilimi pilkapak2 adlı tasarımda 3.66 MPa, pilkapak3 adlı tasarımda ise 5.69 Mpa'dır. Yapılan incelemeler duvar kesme geriliminin eriyik çatlaması gibi akış kararsızlıkları ile direk ilgili olduğunu ortaya çıkarmıştır. Dolayısıyla, pilkapak2 adlı tasarımdan elde edilecek ürünün kalitesi ve yüzey düzgünlüğü daha iyi olacaktır.

◆ Eriyik Yüzü İlerlemesi

Her iki tasarımda da eriyik yüzü ilerlemesi uygun görülmüştür.

◆ Akış Boyu

Akış boyu pilkapak2 adlı tasarımda 135mm, pilkapak3 adlı tasarımda 190mm bulunmuştur. Akış boyunun fazla olması gerekli olan enjeksiyon basıncını artırır. Pilkapak3 adlı tasarımda enjeksiyon basıncının fazla olmasının sebebi akış yolunun pilkapak2'ye göre fazladır.

◆ Kaynak ve Birleşme Noktaları

Analiz sonucunda elde edilen çıktılardan görüleceği gibi pilkapak3 tasarımı birleşme noktalarının oluşumu ve ürün üzerinde yerleşimi açısından uygun değildir. Pilkapak2 adlı tasarım birleşme noktalarının oluşumu açısından uygundur. Kaynak noktaları dikkate alındığında her iki tasarımda kabul edilebilir limitler içerisinde.

◆ **Hava Sıkışması**

Her iki tasarımda da hava sıkışmaları ürünün kenar yüzeylerinde olmaktadır. Pilkapak2 adlı tasarım hava sıkışması miktarının daha az olması sebebiyle uygundur.



SONUÇLAR

BDM ve BDT teknolojisini kullanarak plastik enjeksiyon kalıp tasarımını gerçekleştirmek, mühendislere plastik enjeksiyon prosesini bütün yönleriyle inceleme olanağı sağlar. Aynı zamanda, bu teknolojileri kullanmak verimlilik, parça kalitesi, zaman kullanımı ve maliyetler açısından da yararlar sağlar. Günümüzde, BDM ve BDT uygulamalarının ve bu konulardaki araştırma çalışmalarının artması bunun bir göstergesidir.

BDM analizleri parça tasarımının , kalıp tasarımının ve enjeksiyon prosesi parametrelerinin belirlenmesi konusunda yeni ve yararlı bir yaklaşım ortaya çıkarmışlardır. Daha önceleri, polimer malzemenin doldurma akış yolu, kaynak-noktaları, ve hava sıkışmalarının yeri, gerekli olan enjeksiyon basıncı ve kapama kuvveti, fiber oriyantasyonu, işlem zamanı, son parça şekli ve deformasyonu hakkında bilgi sahibi olmak için çok tecrübe ve sezgi sahibi olmak, birçok prototip çalışması ve enjeksiyon denemeleri yapmak gerekliydi. BDM analizleri ile elde edilen sıcaklık, basınç, gerilim, hız ve kesme oranı dağılımlarını günümüzde çok iyi ekipmanlarla dahi belirlemek çok zordur. BDM uygulamaları ile elde edilen proses davranışları, tecrübesi az olan mühendislere enjeksiyon prosesi hakkında tecrübe kazandırmakta ve tecrübeli mühendislerde prosesin daha ayrıntılı incelenmesi konusunda destek vermektedir. Alternatif tasarımları BDT ve BDM teknolojisini kullanarak denemek ve değerlendirmek, tasarım yönetimi şeklindeki mühendislik “Know-How”ının maliyetleri etkileyecek şekilde daha hızlı oluşmasını sağlar.

BDM analizleri, mühendislere yardımcı olan bir araçtır, hiçbir zaman mühendisin yerini alamaz. Sonuçta, analiz çıktılarını değerlendirecek ve en uygun kararı verecek yine mühendistir. Tasarımın başarısı mühendisin becerisiyle doğru orantılıdır. Diğer bir

deyişle, BDM analizinin hassasiyeti mühendis tarafından tespit edilmiş giriş verilerine bağlıdır.

Bu çalışmada, BDM uygulaması olan ve plastik enjeksiyon simülasyonunu gerçekleştiren C-Mold doldurma[®] analizi programı kullanılarak bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamada kullanılan örnek plastik parçanın üç boyutlu geometrik modeli katı modelleme tekniği kullanılarak Pro/Engineer[®] BDT programı ile oluşturulmuştur. Analiz sonuçları hakkında değerlendirme yapılmış ve bu değerlendirmelere göre en uygun tasarıma karar verilmiştir. Aynı zamanda, en uygun enjeksiyon imalatını gerçekleştirmek için kullanılacak enjeksiyon makinası ve proses parametreleri tespit edilmiştir.



KAYNAKLAR

AC Technology, 1994, "C-Mold® Filling User's Guide". AC Technology-Ithaca, New York.

AC Technology, 1994, "C-Mold® Design Guide- A Resource for Plastic Engineers". AC Technology-Ithaca, New York.

Austin, Colin, 1986 "Flow Of Plastics Into a Mold", In:Injection Molding Handbook. Van Nostrand Reinhold Comp., New York , pp349-354.

Dym J.B., Rosato D.V., 1986 "Designing Products With Plastics", In:Injection Molding Handbook. Van Nostrand Reinhold Comp., New York , pp 127- 158.

Gosztyla, John ,1986 "CAD & CAM for Plastic Part and Mold Design", In:Injection Molding Handbook. Van Nostrand Reinhold Comp., New York , pp 315-338.

Gosztyla, John ,1986 "Process Analysis for Plastic Processing", In:Injection Molding Handbook. Van Nostrand Reinhold Comp., New York ,pp 344-349.

Gökler, M.İ., 1993 "Bilgisayarlarda Geometrik Modelleme", Seminer notları. O.D.T.Ü. , Ankara.

Özçelik, Cenk, 1991 "Sweep- Based Primitive Creation In Solid Modeling", Yüksek Lisans Tezi, O.D.T.Ü. , Ankara.

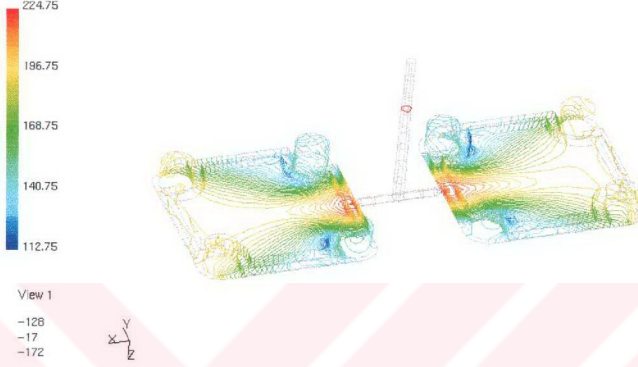
Machine Design Magazine, 6 Nisan 1995 "Basics Of Design Engineering", Penton Publication, pp83-88.

Menges / Mohren ,1986 "How to Make Injection Molds". Hanser Publishers-Oxford University Press, New York.

Rosato, D.V., 1986 "Injection Mold Design",In:Injection Molding Handbook.Van Nostrand Reinhold Comp., New York, pp 160-200.

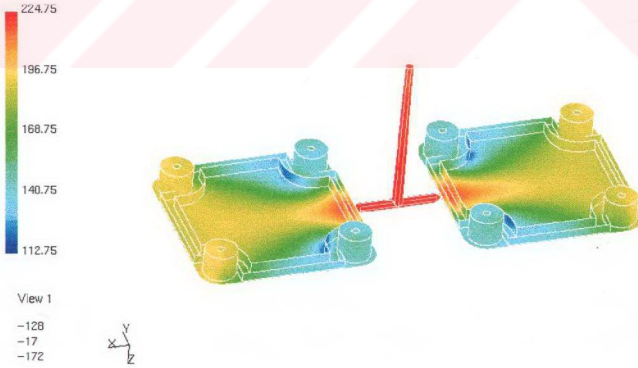
EK-1 C-Mold Doldurma Analizi Grafiksel Çıktıları

Filling: Bulk temperature (C) at Time - 3.0150 s
/disk:12/cmold/ugun/pilk-akap2/pilk-akap2



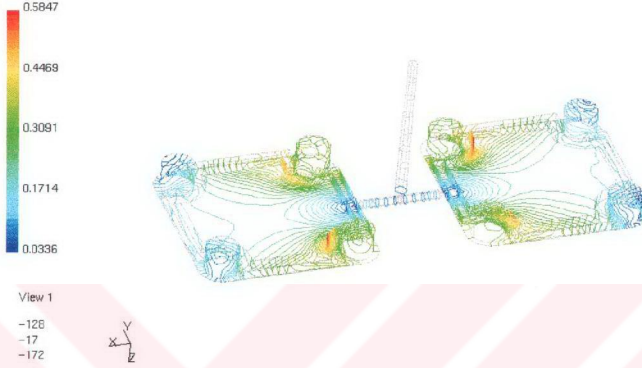
Şekil E.1. Pilkapak2 Bütünsel sıcaklık (Kontürsel)

Filling: Bulk temperature (C) at Time - 3.0150 s
/disk:12/cmold/ugun/pilk-akap2/pilk-akap2



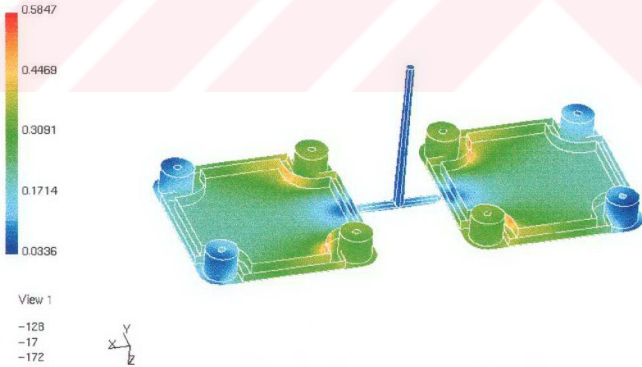
Şekil E.2. Pilkapak2 bütünsel sıcaklık

Filling: Frozen layer fraction at Time = 3.0150 s
/disk12/cmold/ugur/pilkapak2/pilkapak2



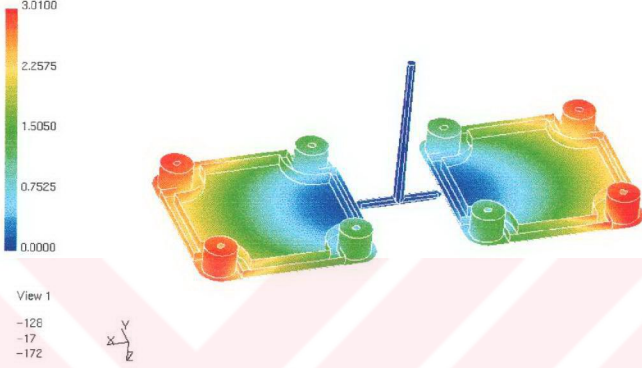
Şekil E.3. Pilkapak2 donmuş tabaka oranı (Kontürel)

Filling: Frozen layer fraction at
/disk12/cmold/ugur/pilkapak2/p.



Şekil E.4. Pilkapak2 donmuş tabaka oranı

Filling: Melt-front advancement
/disk12/cmold/ugur/pilkapak2/pilkapak2



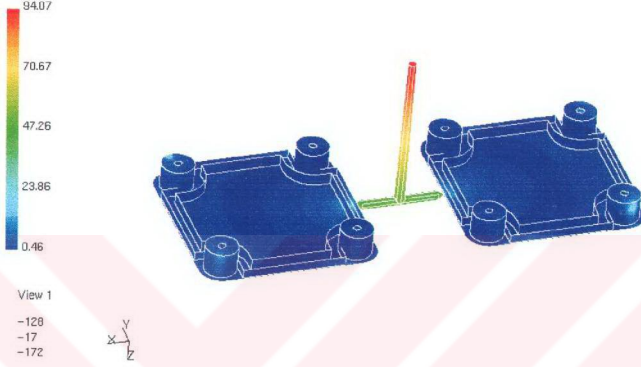
Şekil E.5. Pilkapak2 eriyik-yüzü ilerlemesi

Filling: Melt-front advancement
/disk12/cmold/ugur/pilkapak2/pilkapak2



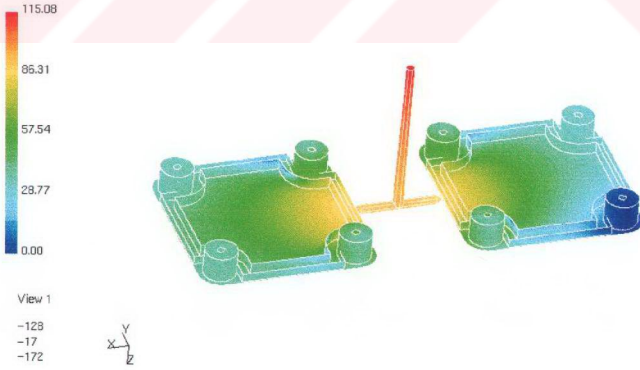
Şekil E.6. Eriyik-yüzü ilerlemesi (Kontürel)

Filling: Melt-front speed (cm/s)
/disk12/cmold/ugur/pilkapak2/pilkapak2



Şekil E.7. Pilkapak2 eriyik-yüzü hızı

Filling: Pressure (MPa) at Time = 3.0150 s
/disk12/cmold/ugur/pilkapak2/pilkapak2



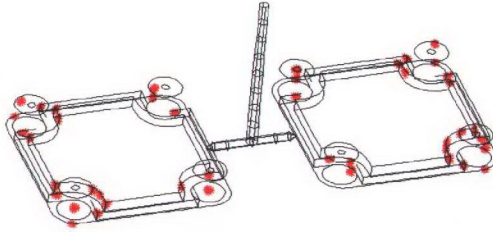
Şekil E.8. Pilkapak2 enjeksiyon basıncı

Filling: Wall shear stress (MPa) at Time = 3.0150 s
/disk12/cmold/ugur/pilkapak2/pilkapak2



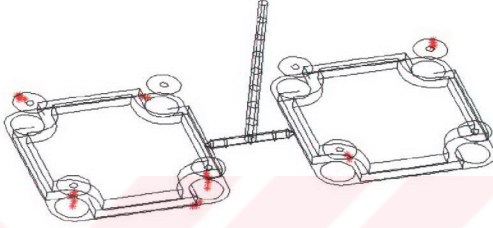
Şekil E.9. Pilkapak2 duvar kesme mukavemeti

Filling: Air traps
/disk12/cmold/ugur/pilkapak2/pilkapak2



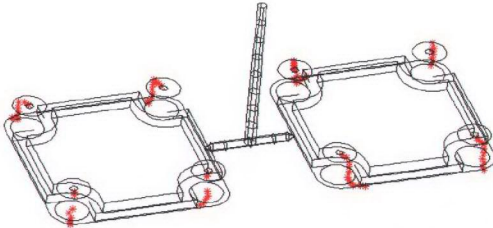
Şekil E.10. Pilkapak2 hava sıkışmaları

Filling: Meld lines
/disk12/cmold/ugur/pilkapak2/pilkapak2

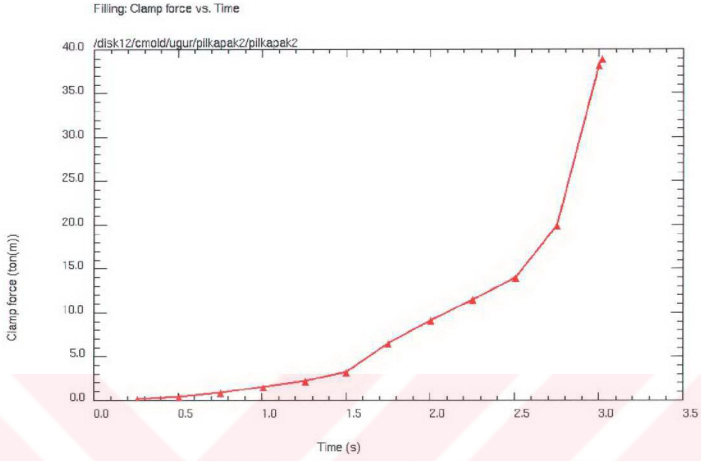


Şekil E. 11. Palkapak2 birleşme noktaları

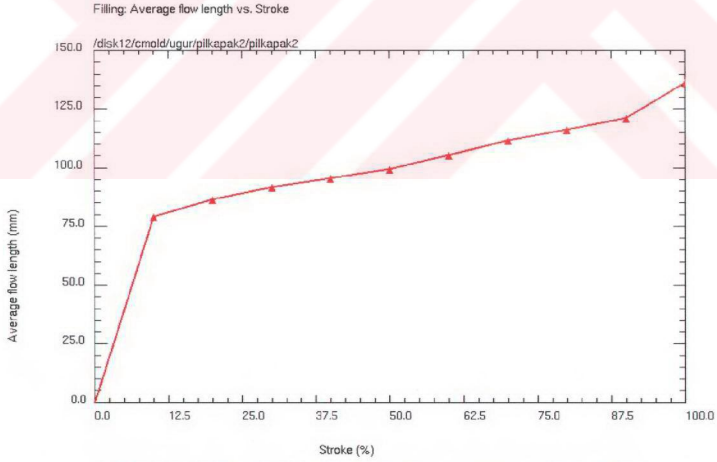
Filling: Weld lines
/disk12/cmold/ugur/pilkapak2/pilkapak2



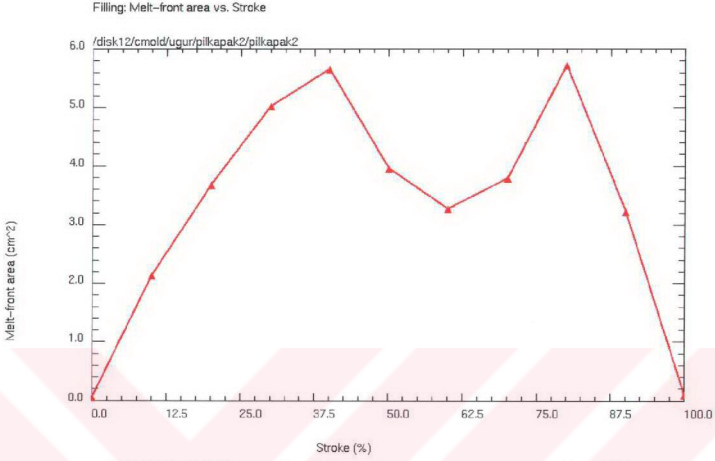
Şekil E. 12. Palkapak2 kaynak noktaları



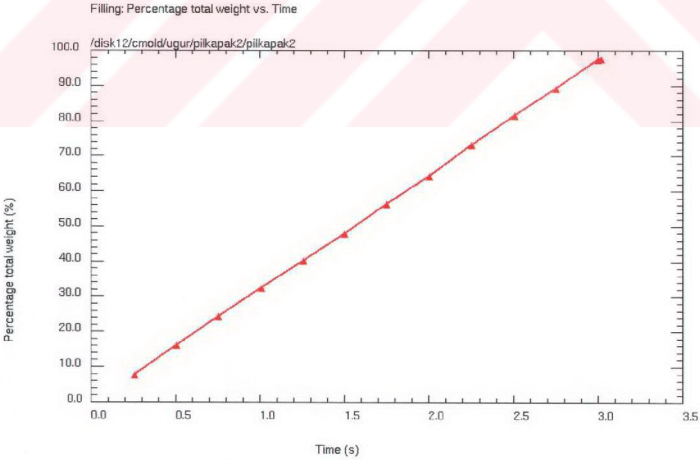
Şekil E.13. Pilkapak2 kapama kuvveti-zaman grafiği



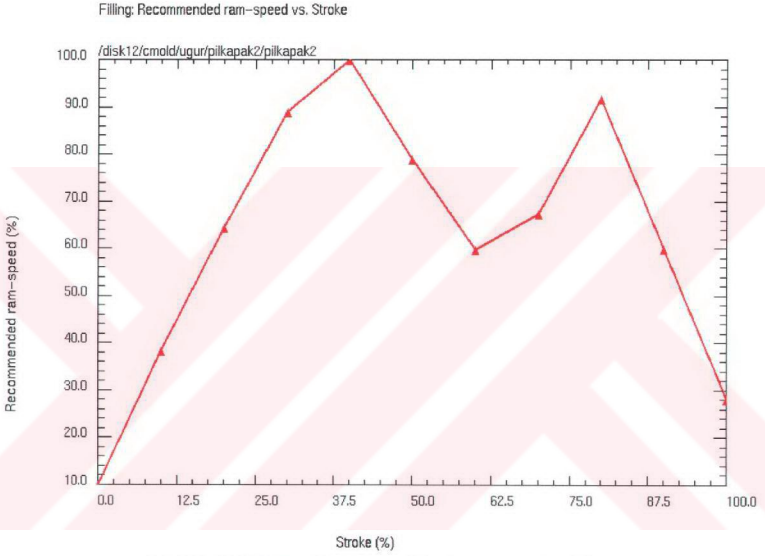
Şekil E.14. Pilkapak2 Ortalama akış boyu- vuruş yüzdesi grafiği



Şekil E.15. Pilkapak2 eriyik yüzü alanı - vuruş yüzdesi grafiği

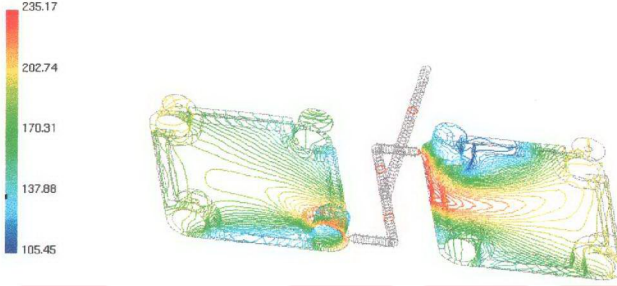


Şekil E.16. Pilkapak2 toplam ağırlık yüzdesi - zaman grafiği



Şekil E.17. Pilkapak2 tavsiye edilen burğu hızı profili

Filling: Bulk temperature (C) at Time = 3.0680 s
/disk12/cmolld/ugur/pilkapak3/pilkapak3



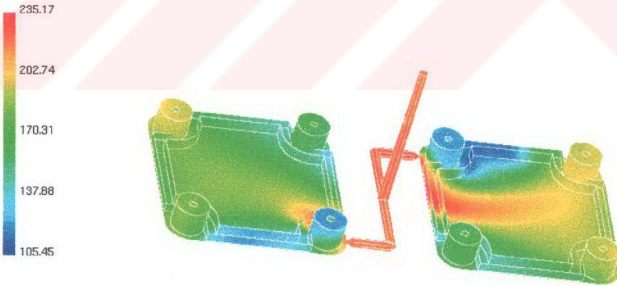
View 1

130
14
-6



Şekil E. 18. Pilkapak3 bütünsel sıcaklık (Kontürsel)

Filling: Bulk temperature (C) at Time = 3.0680 s
/disk12/cmolld/ugur/pilkapak3/pilkapak3



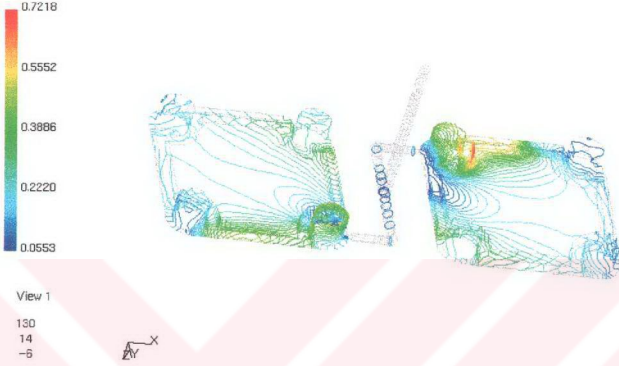
View 1

130
14
-6



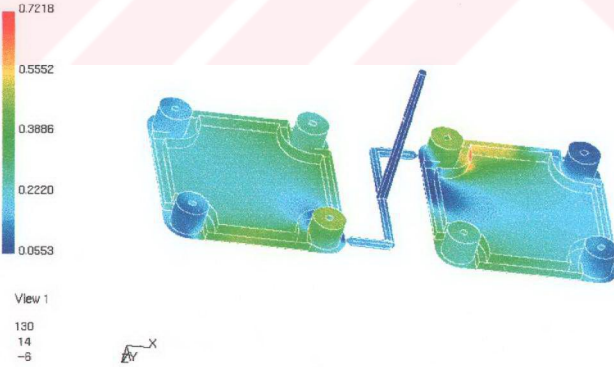
Şekil E. 19. Pilkapak3 bütünsel sıcaklık

Filling: Frozen layer fraction at Time = 3.0680 s
/disk12/cmold/ugur/pilkapak3/pilkapak3



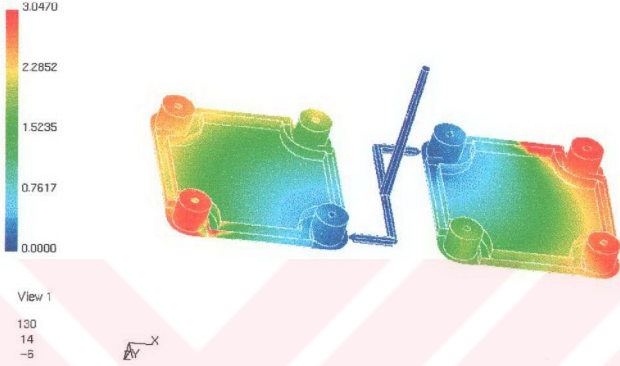
Şekil E.20. Pilkapak3 donmuş tabaka oranı (Kontürel)

Filling: Frozen layer fraction at
/disk12/cmold/ugur/pilkapak3/p



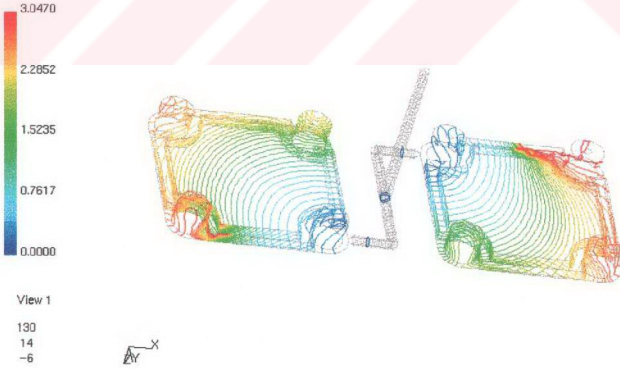
Şekil E.21. Pilkapak3 donmuş tabaka oranı

Filling: Melt-front advancement
/disk12/cmold/ugur/pilkapak3/pilkapak3



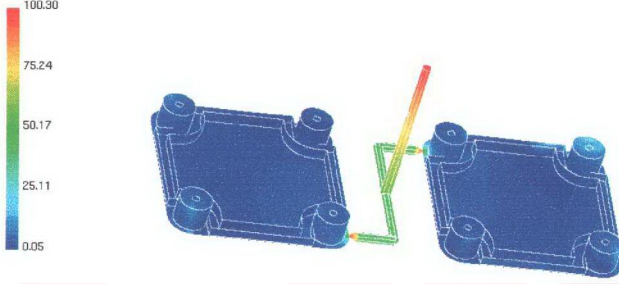
Şekil E.22. Pilkapak3 eriyik yüzü ilerlemesi

Filling: Melt-front advancement
/disk12/cmold/ugur/pilkapak3/pilkapak3



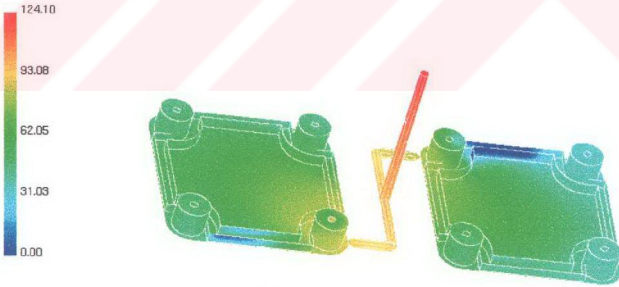
Şekil E.23. Pilkapak3 eriyik yüzü ilerlemesi (Kontürel)

Filling: Melt-front speed (cm/s)
/disk12/cmold/ugur/pilkapak3/p



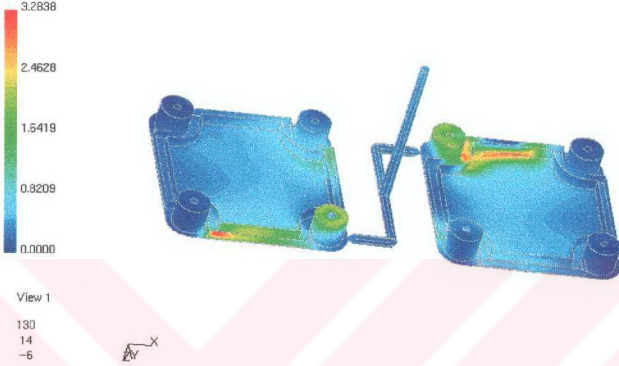
Şekil E.24. Pilkapak3 eriyik yüzü hızı

Filling: Pressure (MPa) at Time = 3.0680
/disk12/cmold/ugur/pilkapak3/pilkapak3



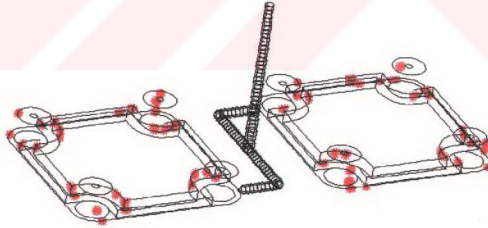
Şekil E.25. Pilkapak3 enjeksiyon basıncı

Filling: Wall shear stress (MPa) at Time = 3.0660 s
/disk12/cmold/ugur/pilkapak3/pilkapak3



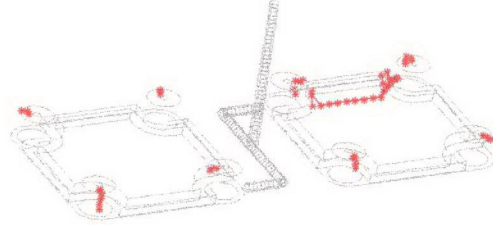
Şekil E.26. Pilkapak3 duvar kesme mukavemeti

Filling: Air traps
/disk12/cmold/ugur/pilkapak3/pilkapak3



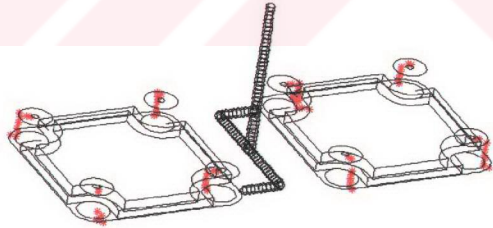
Şekil E.27. Pilkapak3 hava sıkışması

Filling: Weld lines
/disk12/cmold/Ugur/pilkapak3/pilkapak3

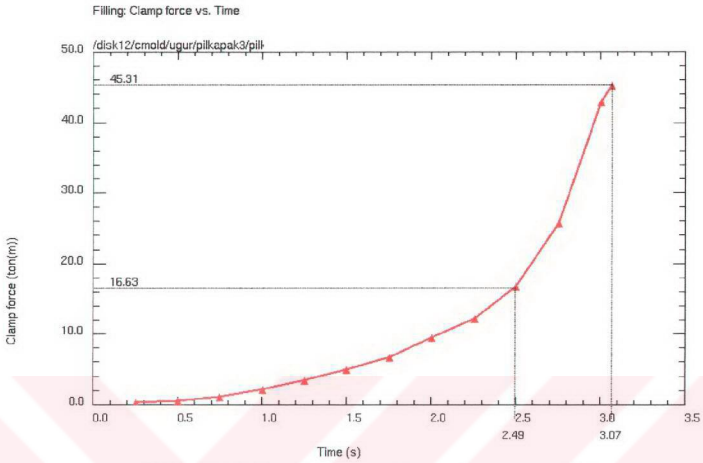


Şekil E.28. Pilkapak3 birleşme noktaları

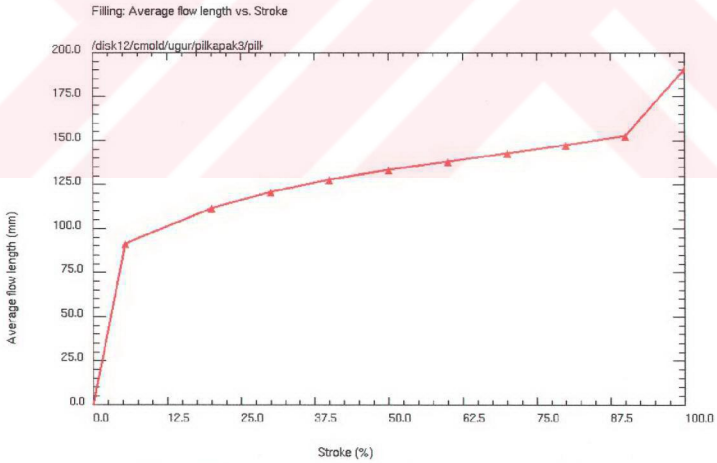
Filling: Weld lines
/disk12/cmold/Ugur/pilkapak3/pilkapak3



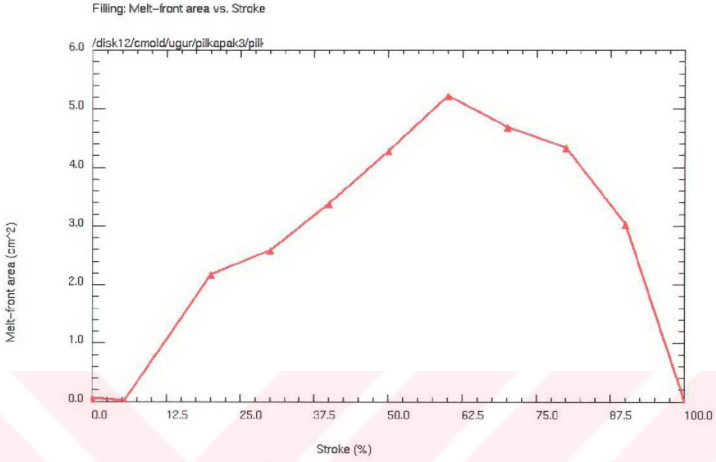
Şekil E.29. Pilkapak3 kaynak noktaları



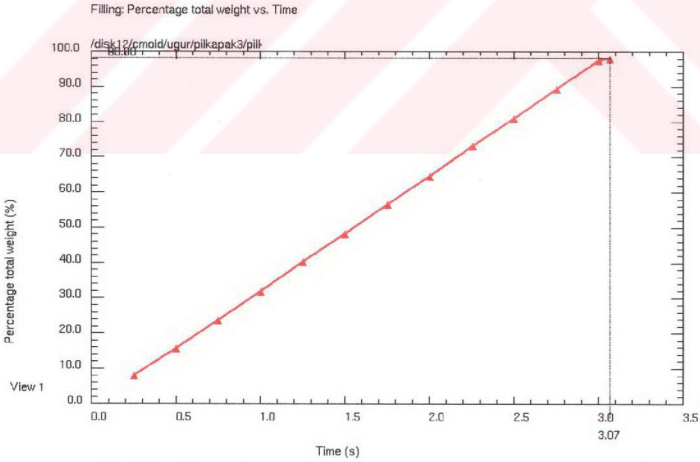
Şekil E.30. Pilkapak3 kapama kuvveti - zaman grafiği



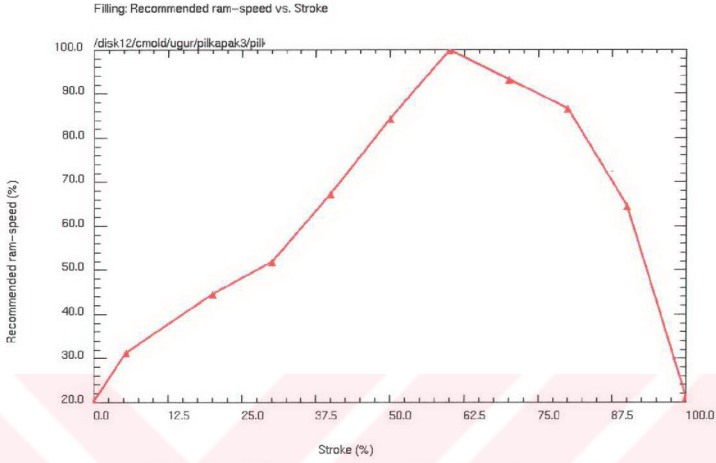
Şekil E.31. Pilkapak3 ortalama akış boyu - vuruş yüzdesi grafiği



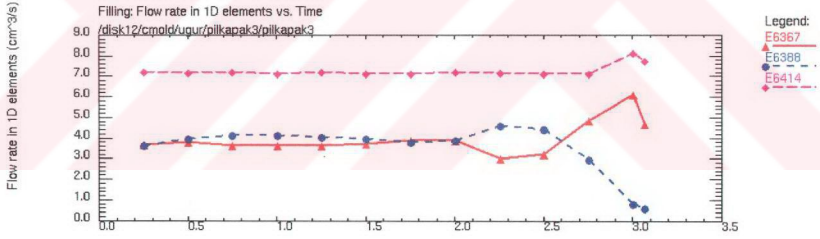
Şekil E.32. Pilkapak3 eriyik yüzü alanı - vuruş yüzdesi grafiği



Şekil E.33. Pilkapak3 ortalama toplam ağırlık yüzdesi - zaman grafiği



Şekil E.34. Pilkapak3 tavsiye edilen burgu hızı profili



Şekil E.35. Pilkapak3 elemanlardaki ortalama debi miktarı - zaman grafiği

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi :18 Temmuz 1970

Doğum Yeri :Kocaeli / İzmit

Eğitim :1982-1988

1988-1993

Özel Kocaeli Koleji

Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Mühendislik Fakültesi

Makina Mühendisliği Bölümü

İş Tecrübesi :12.07.1993 -14.10.1996

14.10.1996 -

Kalekalıp A.Ş.

Türk Elektrik Endüstrisi A.Ş.