

**T.C.
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
PROJE KESİN RAPORU**

**Plastik Enjeksiyon Kalıplarında Ürün Geometrisine Uyumlu Soğutma Kanalı
Optimizasyonu**

Proje Yürütücüsü: Prof. Dr. Abdulmecit GÜLDAŞ

Araştırmacı: Öğr. Gör. Mustafa GÖKTAŞ

Proje Kodu: 07/2018-28

Başlama-Bitiş Tarihi: 26.11.2018-26.11.2019

Rapor Tarihi: 25.02.2020

Teknoloji Fakültesi – İmalat Mühendisliği

Ankara-“2020”



**T.C.
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
KESİN RAPOR FORMU**

İÇİNDEKİLER

Sayfa

1. Projenin Amacı ve Kapsamı.....	4
2. Projenin Materyal-Yöntemi	4
3. Projenin Bulguları.....	8
4. Projenin Sonucu ve Öneriler	12
5. Geleceğe İlişkin Öngörülen Katkılar	12
6. Kaynaklar	12
7. Ekler	13



T.C.
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
KESİN RAPOR FORMU

Proje Adı: Plastik Enjeksiyon Kalıplarında Ürün Geometrisine Uyumlu Soğutma Kanalı Optimizasyonu

Proje Özeti:

Bu projede plastik enjeksiyon kalıplarında şekil uyumlu soğutma kanalları kullanılarak üretim hızının artırılması ve plastik parça kalitesinin artırılması amaçlanmıştır. Şekil uyumlu soğutma kanallarına sahip plastik enjeksiyon kalıplarının katmanlı sert lehimleme yöntemi ile üretimi için deneysel bir çalışma yapılmıştır. Bu kapsamda, şekil uyumlu soğutma kanallarına sahip plastik enjeksiyon kalıbı tasarlanmış ve üretilmiştir. Üç boyutlu karmaşık soğutma kanallarının elde edilebilmesi için kalıp çekirdekleri katmanlara ayrılarak plakalar halinde işlenmiştir. Plakalar vakumlu sert lehimleme yöntemi ile birleştirilmiştir. Ayrıca kıyaslama yapılabilmesi için doğrusal soğutma kanalına sahip kalıpta üretilmiştir. Her iki kalıp ile enjeksiyon baskıları yapılarak plastik parça üretilmiştir. Deneysel çalışmada soğutma süresi, kalıptan çıkan ürünün yüzey sıcaklığı ve üründeki çarpılmalar incelenmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışmaya göre, şekil uyumlu soğutma kanallarının kullanımı ile soğuma süresinin %22 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Üretilen plastik parçaların üzerindeki çarpılma miktarında ise yaklaşık %50 oranında iyileşme olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Şekil Uyumlu Soğutma Kanalları, Plastik Enjeksiyon Kalıplama, Soğutma Sistemi, Vakumlu Sert Lehimleme, Plastik Parçaların Çarpılması

Title: Conformal Cooling Channel Optimization in Plastic Injection Molds

Abstract:

In this project, it was aimed to increase the production speed and increase the quality of plastic parts by using conformal cooling channels in plastic injection molds. An experimental study was carried out for the production of plastic injection molds with conformal cooling channels by laminated brazing method. In this context, plastic injection mold with conformal cooling channels were designed, and manufactured. In order to obtain three-dimensional complex cooling channels, the mold cores were separated into layers, and processed into plates. The plates were combined with the vacuum brazing method. It was also produced in a mold with a straight cooling channel for comparison. Plastic parts were produced by producing with both molds. In the experimental study, the cooling time, the surface temperature of the product and the distortions in the product were examined. According to this study, it was determined that cooling time decreased by 22% with the use of shape-compatible cooling channels. It was observed that there was a 50% improvement in the amount of distortion on the plastic parts produced.

Keywords: Conformal cooling channels, Plastic injection molding, Cooling system, Vacuum brazing, Warpage of plastic parts

1. Projenin Amacı ve Kapsamı

Bu projede plastik enjeksiyon kalıplarında şekil uyumlu soğutma kanalları kullanarak çevrim süresinin kısaltılmasını sağlamak ve plastik parça üzerindeki çarpılma miktarını azaltmak amaçlanmıştır. Kalıp boşluğu yüzeyinde mümkün olduğunca özdeş sıcaklık dağılımını sağlayarak plastik parçanın tüm yüzeylerinde eşit bir soğumanın sağlanması hedeflenmiştir.

Özdeş sıcaklık dağılımının gerçekleştirilebilmesi amacıyla enjeksiyon kalıbında yüzeye uyumlu/şekil uyumlu soğutma kanalları oluşturulabilmesi için bir algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma kullanılarak bilgisayar destekli tasarım yazılımları ile şekil uyumlu soğutma kanalları modellenmiştir. Oluşturulan modeller ile bilgisayar destekli mühendislik yazılımları kullanılarak soğutma analizleri yapılmış, sıcaklık ve basınç ve hız dağılımları hesaplanmıştır.

Şekil uyumlu soğutma kanallarının ve matkap ile delinmiş doğrusal soğutma kanallarının olduğu birer plastik enjeksiyon kalıbı tasarlanarak imal edilmiştir. Üç boyutlu ve karmaşık geometriye sahip soğutma kanallarının klasik delme metodu ile üretilmesi mümkün değildir. Bu nedenle, şekil uyumlu soğutma kanallarına sahip kalıp plakaları genelde iki metot ile üretilmektedir. Birincisi eklemeli imalat yöntemi ile 3D yazıcılar kullanılarak imal edilmekte ya da kalıp plakası parçalı plakalar halinde üretilerek sert lehimleme ile birleştirilmektedir. Önerilen bu projede eklemeli imalat ile üretilen kalıp plakaları yüksek maliyet ve mekanik mukavemetleri gibi nedenlerden dolayı tercih edilmemiştir. İkinci üretim yöntemi olan parçalı plakalar metodu ile üç boyutlu kanalları içeren plakalar parçalı olarak üretilip sert lehimleme (vacuum brazing) ile birleştirilerek nihai kalıp çekirdekleri üretilmiştir. Parçalı plakalardaki soğutma kanalı boşluklarının oluşturulabilmesi için plakalar CNC tezgâhında işlenmiştir.

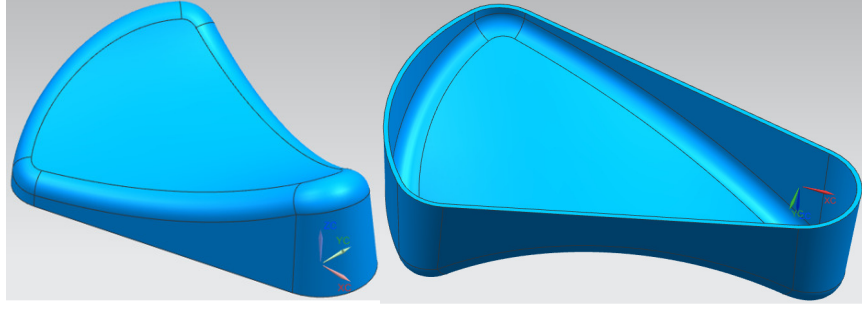
Ayrıca, şekil uyumlu soğutma kanallara sahip kalıbın yanında matkap ile delinmiş doğrusal soğutma kanalları bulunan plastik enjeksiyon kalıbı da imal edilmiştir. Üretilen kalıp modüler olarak tasarlanmış olup sadece dişi ve erkek plakalar (çekirdek plakalar) üzerindeki soğutma kanalları farklı metotlar ile üretilmiştir. Her iki tip soğutma kanalına sahip modüler kalıp ile deneme baskıları yapılarak plastik parça numuneleri üretilmiştir. Üretim esnasındaki çevrim süreleri ölçülerek karşılaştırılmıştır. Üretilen plastik ürünler üzerindeki çarpılma ve çekme miktarları ve geometrik şekil değiştirmeler tespit edilmiş ve karşılaştırmalar yapılmıştır.

Yapılan bu çalışma sonunda karmaşık yüzeyli plastik parçaların kalıplanmasında üretim sürelerinin düşürülmesi, plastik parça kalitesinin artırılması ve bu gelişmelerin sağlanabilmesi için daha düşük maliyetli ve kolay uygulanabilir bir yöntemin geliştirilmesi sağlanmıştır. Ayrıca bu çalışma ile beraber bir adet doktora tezi bitirme aşamasına getirilmiş olup ve yazılmış ve yazılacak bilimsel makaleler ile ülkemizin ve üniversitemizin alandaki tanınırlığı artırılacaktır.

2. Projenin Materyal-Yöntemi

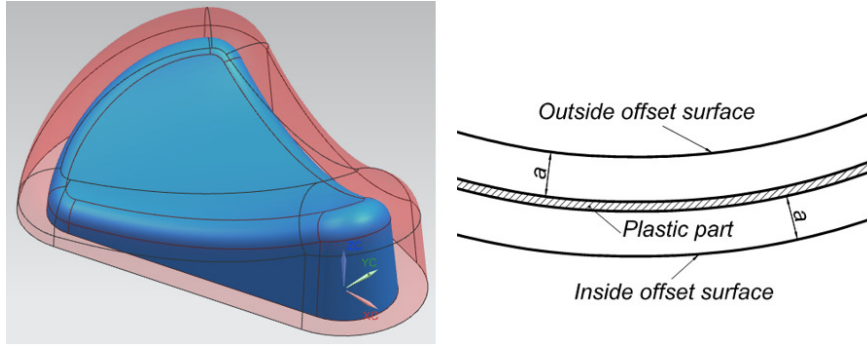
Plastik parça ve soğutma kanalı tasarımı

Deneyisel çalışma için düz soğutma kanallarının uyumlu bir şekilde takip edemeyeceği geometriye sahip bir plastik parça tasarımı yapılmıştır. Plastik parça eğimli yüzeylerden oluşmaktadır (Şekil 1). Plastik parça malzemesi ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren) olarak seçilmiştir. Parça boyutları 149x94x41mm'dir. Et kalınlığı 3,5mm'dir.



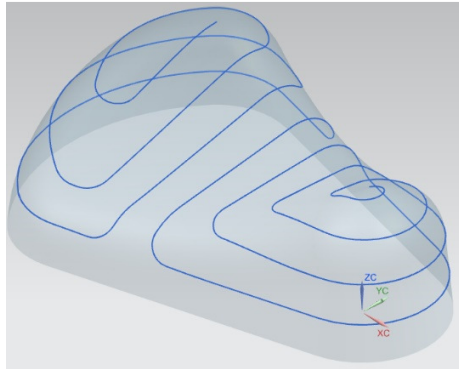
Şekil 1. Çalışmada kullanılan plastik parça geometrisi

Şekil uyumlu soğutma kanalları daha önceki çalışmada geliştirilen bir tasarım metodu kullanılarak tasarlanmıştır [1,2]. Soğutma kanallarının kalıp boşluğuna sabit bir uzaklıktaki konumda yer alması için plastik parçanın hem iç hem de dış yüzeyleri ofsetlenerek bir ofset yüzeyi oluşturulmuştur (Şekil 2). Şekil uyumlu soğutma kanalının merkezi bu yüzeyler üzerinde yer almaktadır (Şekil 3).

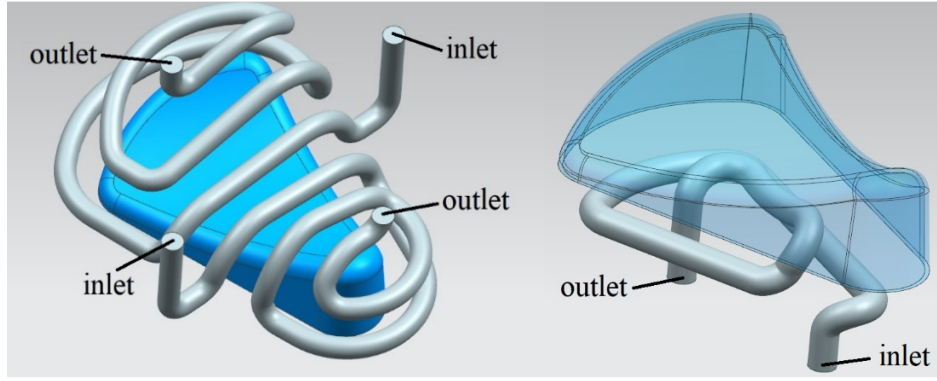


Şekil 2. Plastik parçanın ofsetlenmiş yüzeyleri.

Kalıbın her iki yarımı için şekil uyumlu soğutma kanalları tasarlanmıştır (Şekil 4). Yüzeyin Ofsetleme mesafesi soğutma kanalının eksen ile kalıp boşluğu arasındaki mesafeyi belirlemektedir. Kanal boyutları plastik parçanın et kalınlığına göre belirlenmiştir. Kanal çapı 10mm, kanalların birbirlerine uzaklıkları 25mm ve kanal ile kalıp boşluğu arası mesafe 17mm'dir.

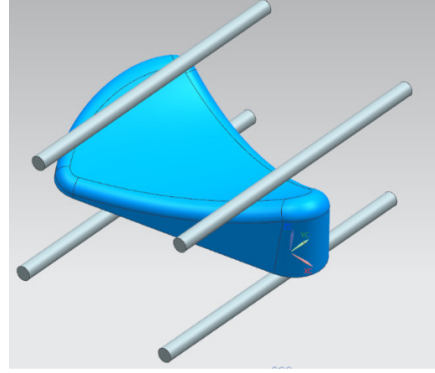


Şekil 3. Kanal eksenini ofset yüzeyi üzerinde bulunmaktadır.



Şekil 4. Şekil uyumlu soğutma kanalları

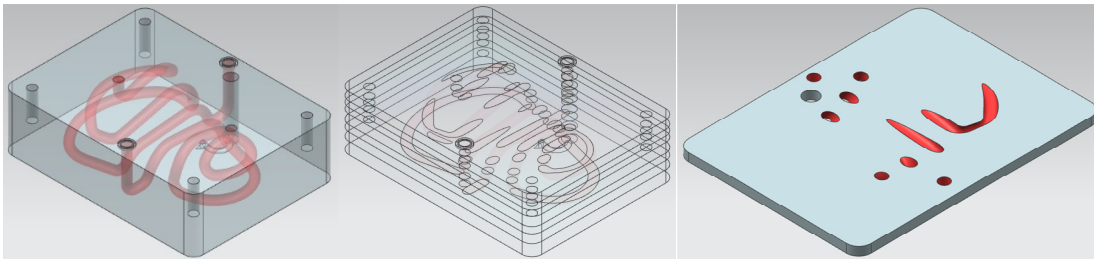
Şekil uyumlu soğutma kanallarının düz soğutma kanalı ile farkının gözlemlenmesi için düz soğutma kanalları da tasarlanmıştır (Şekil5). İki tanesi kalıp boşluğu tarafında iki tanesi de çekirdek tarafında olmak üzere matkapla delinerek elde edilen dört adet düz delikten oluşmaktadır. Aynı kalıp yarımında olan düz soğutma kanalları kalıp dışında seri olarak birleştirilmiştir.



Şekil 5. Düz soğutma kanalları

Plastik enjeksiyon kalıbının üretimi

Şekil uyumlu soğutma kanallarına sahip kalıp takımlarının üretimi için katmanlı üretim yöntemi kullanılmıştır. Plastik enjeksiyon kalıbının modeli katmanlara bölünmüştür (Şekil 6). Katman kalınlıkları soğutma kanallarının oluşturduğu boşluklar frezelemeye uygun olacak şekilde belirlenmiştir [3].



Şekil 6. Kalıp çekirdeklerinin katmanlara bölünmesi ve elde edilen plaka

Bölünmüş plakaların üretimi için yüzeyleri taşlanmış plakalar kullanılmıştır. Kullanılan çelik plakaların malzeme özellikleri Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Kalıp malzemesinin özellikleri

Standard (ISO)	C	Mn	Si	P	S	N	Cr	Ni
1.0037	%0,17	%1,4	%0,3	%0,045	%0,009	-	-	-

CNC freze ile işlenen plakalar vakumlu sert lehimleme yöntemi ile birleştirilmiştir. Lehimleme öncesinde birleştirilecek parçalar mekanik ve kimyasal temizleme işlemi yapılmıştır. Mekanik temizleme için birleştirme yüzeyleri taşlanmıştır. Difüzyon kaynağından farklı olarak ergiyik haldeki lehimleme malzemesinin kapiler etki ile birleştirilecek yüzeylerin arasına ve yüzeydeki pürüzlüğe yayılması için yüzeyler taşlanmış olarak bırakılmıştır. Ayrıca bir parlatma işlemi uygulanmamıştır.

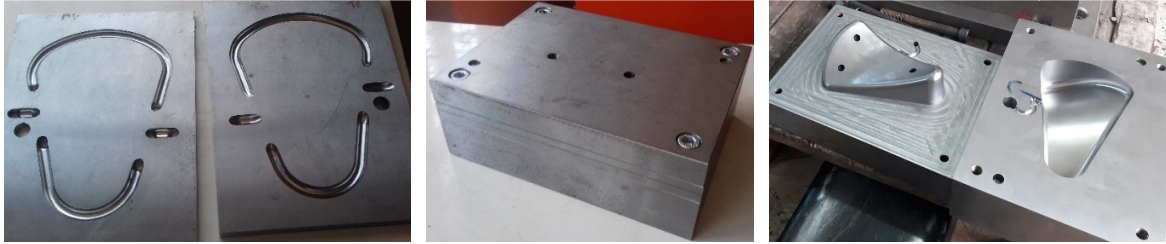
Kimyasal temizlemede birleştirilecek yüzeyler etil alkol ile oksit tabakası ve yüzeysel kirlere arındırılmıştır. Birleşme yüzeylerine bakır esaslı lehimleme malzemesi sürülmüştür. Lehim malzemesinin özellikleri Tablo 2 'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Lehim malzemesinin özellikleri

EN 1044	AWS A5.8	DIN 8513	%Cu	%Sn	Ergime Sıcaklığı °C
CU101	Bcu-1a	L-Cu	100	-	1083

Daha sonra merkezleme pimleri ile birleştirilecek parçalar birbirlerine hizalanmıştır. Lehimleme işlemi atmosfer kontrollü, vakum fırınında, azot/hidrojen (%90 / %10) gazı atmosferinde, 1100 °C de 5 dakika tutma süresi ile gerçekleştirilmiştir. Sert lehimleme yapılırken kalıp plakalarının birbirinden ayrılması ve temasın kesilmemesi plakalar üzerine yük yerleştirilmiştir.

Parçalar birleştirildikten sonra içerisinde şekil uyumlu soğutma kanalları bulunan kütük CNC tezgahında işlenerek kalıp çekirdekleri ve boşlukları oluşturulmuştur (Şekil 7). Kalıp yüzeylerine polisaj işlemi uygulanmamıştır.



a)

b)

c)

Şekil 7. Şekil uyumlu kanal metodu ile işlenen kalıp, a) Birleştirilen plaka, b) Lehimlenmiş plakalar, c) hassas işlenmiş kalıp çekirdekleri

Kalıplanan ürünlerdeki çarpılmanın ölçülmesi

Plastik enjeksiyon kalıplama işleminde plastik malzeme soğurken çekme olayı gerçekleşmektedir. Çekme oluşurken plastik malzeme üzerindeki sıcaklık dağılımı çekme olayını da etkileyeceğinden düzgün bir sıcaklık dağılımının olmaması sonucunda plastik parça üzerinde çarpılmalar oluşacaktır. Şekil uyumlu soğutma kanalı kullanımı ile plastik parçanın daha düzgün bir sıcaklık dağılımı ile soğuması amaçlanmaktadır. Şekil uyumlu soğutma kanalı ile gerçekleştirilen soğutma işleminin plastik parçalar üzerindeki çarpılma miktarlarına etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Baskı denemeleri sonucu üretilen plastik parçalar üzerindeki çarpılma miktarları incelenmiş ve

karşılaştırılmıştır. Plastik parça üzerindeki düzlemsel yüzeydeki çarpılma derinlikleri komperatör saati ile ölçülmüştür (Şekil 8).



Şekil 8. Plastik parçalar üzerindeki çarpılma miktarlarının karşılaştırılması

Tablo 3. Kullanılan plastik malzemenin özellikleri

Malzeme	Yoğunluk kg/cm ³	Enjeksiyon sıcaklığı, °C	Kalıp sıcaklığı, °C	Camsı geçiş sıcaklığı, °C	Kurutma sıcaklığı, °C	Kurutma süresi, h
LG CHEM ABS HI121	1,04	210-240	40-70	91	80	2-4

Baskı denemelerinde kullanılan işleme parametreleri Tablo 4'te gösterilmiştir. Kalıp sıcaklığının sabit tutulması için kalıp şartlandırma ünitesi kullanılmıştır. Kalıp içerisine giren soğutma suyu sıcaklığı sürekli olarak 60°C de sabit tutulmuştur. Kalıp sıcaklığı k tipi termokupl ile sürekli olarak kontrol edilmiştir. Kalıptan çıkan parçanın yüzey sıcaklığı kızılötesi termometre (Standard Infrared Thermometer ST-8858) ile ölçülmüştür. Plastik parçanın yüzey sıcaklık ölçümü, kalıp açıldıktan sonra itici pimler plastik parçayı düşürür düşürmez yapılmıştır.

Tablo 4. Enjeksiyon parametreleri

Ergiyik sıcaklığı, °C	240
Kalıp sıcaklığı, °C	60
Çıkarma sıcaklığı, °C	90
Enjeksiyon basıncı, bar	45
Ütuleme basıncı, bar	30

3. Projenin Bulguları

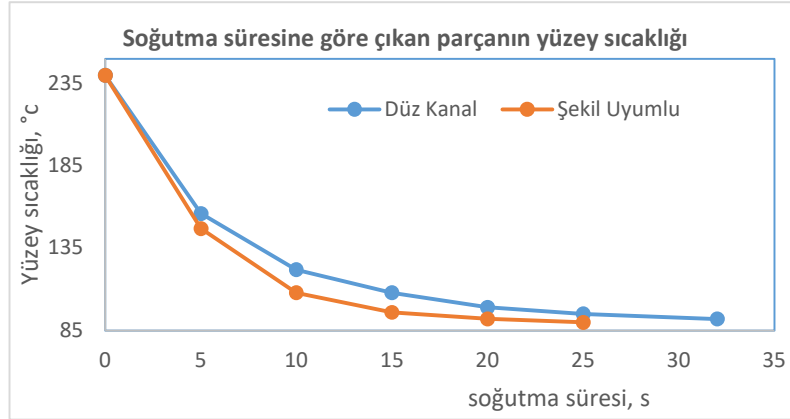
Şekil uyumlu soğutma kanallarına sahip plastik enjeksiyon kalıbı tasarlanmış ve katmanlara ayrılmıştır. Kalıp çekirdekleri oluşturacak parçalar vakumlu sert lehimleme yöntemi ile birleştirilerek üretilmiştir. Ayrıca karşılaştırma yapabilmek için düz soğutma kanallarına sahip plastik enjeksiyon kalıbı da üretilmiştir. Baskı denemelerinde plastik malzeme olarak ABS kullanılmıştır. Plastik malzemenin özellikleri Tablo 3'te gösterilmiştir. Hazırlanan plastik enjeksiyon kalıpları plastik enjeksiyon tezgahına bağlanarak baskı denemeleri yapılmıştır.

Soğutma süresi, çıkan plastik parçanın yüzey sıcaklığı 90 °C olacak şekilde ayarlanmıştır. Kalıp sıcaklığının dengelenmesi için hazırlık baskıları yapılmıştır. Her iki soğutma kanalı tipinde de 30 ar adet baskı yapılmıştır (Şekil 9).



Şekil 9. Şekil uyumlu (solda) ve doğrusal (sağda) soğutma kanalı ile üretilen plastik parçalar

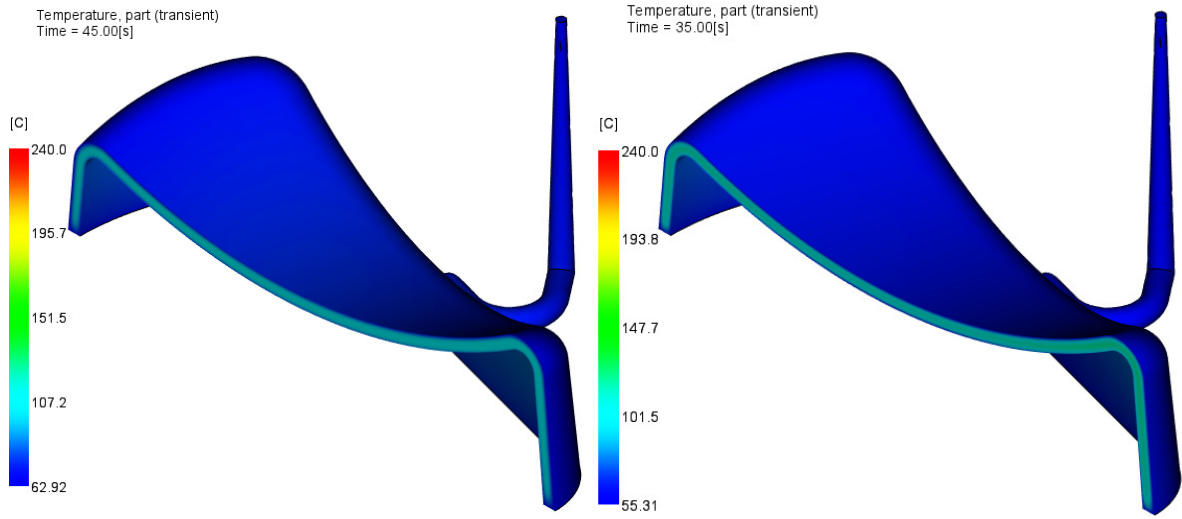
Düz ve şekil uyumlu soğutma kanallarının soğutma süresine etkileri gözlemlenmiştir (Tablo 3). Düz soğutma kanalı kullanıldığında soğutma süresi 32s iken şekil uyumlu soğutma kanalı kullanıldığında soğutma süresi 25s sürmüştür. Şekil 10'da plastik parçaların çıkarma sıcaklığına erişim süreleri grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 10. Plastik parçanın yüzey sıcaklığının zamanla değişimi

Toplam çevrim süresi şekil uyumlu kanal kullanımı ile 44s'den 37s'ye düşmüştür. Şekil uyumlu soğutma kanallarının soğutma işlemdeki etkisi bariz bir şekilde görülmektedir. Üretim hızının artması maliyetlerin de düşmesini sağlayacaktır.

Hazırlanan CAD modelleri ile Moldflow yazılımı kullanılarak sayısal analizler yapılmıştır. Sayısal analiz kapsamında dolum, ütüleme ve soğuma analizleri gerçekleştirilmiştir [3]. Analiz sonuçlarına göre düz soğutma kanalı kullanıldığında çevrim süresi 45s sürmüştür. Şekil uyumlu soğutma kanalı kullanımıyla bu süre 35s'ye düşmüştür. Soğutma süreleri ise düz ve şekil uyumlu kanal tipleri için 40s ve 30s olarak hesaplanmıştır. Soğutma ve çevrim sürelerinde 10s'lik bir kısalma hesaplanmıştır. Düz kanal için 35. saniyede ve şekil uyumlu kanal için 35. saniyede plastik parça üzerindeki sıcaklık dağılımları Şekil 11'te gösterilmiştir.



Şekil 11. Düz (solda) ve şekil uyumlu (sağda) soğuma analizi sonuçları [3].

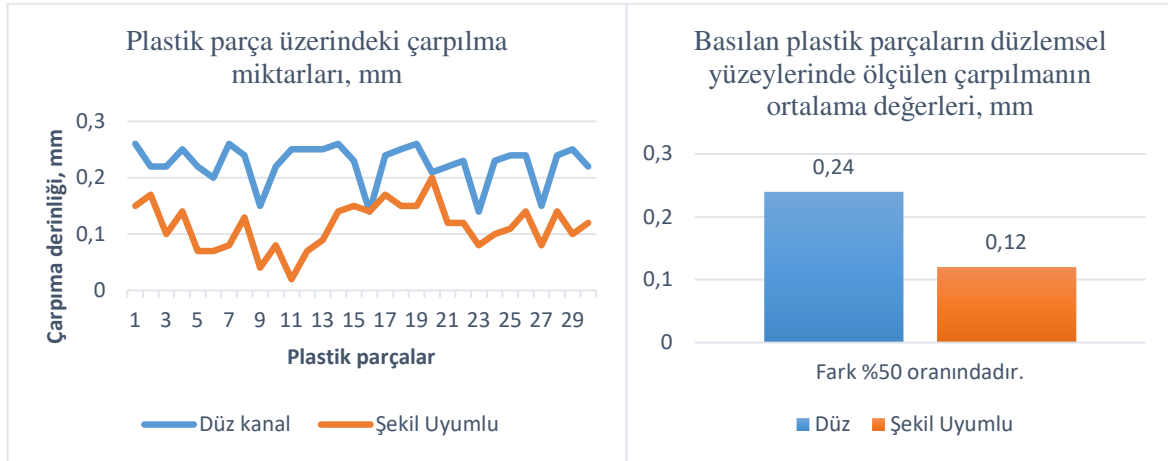
Doğrusal soğutma kanalı bulunan kalıpların üretim maliyetleri şekil uyumlu soğutma kanallarından daha düşük olsa da üretim hızının artması toplam maliyetlerin azalmasında avantaj sağlayacaktır. Ekllemeli imalat yöntemleri ile kıyaslandığında sunulan bu yöntem kalıp üretim maliyetleri açısından oldukça avantajlıdır.

Plastik enjeksiyon kalıplama işleminde kalıp sıcaklığının dengeye gelinceye kadar ki süre içinde üretilmiş hurdaya ayrılan plastik parçalar ve zaman kaybı başlangıç kayıplarına neden olmaktadır. Bu nedenle başlangıç süresinin en aza indirilmesi üretim maliyetlerini düşürecektir. Şekil uyumlu ve doğrusal soğutma kanalları başlangıç kayıpları açısından da karşılaştırılmıştır. Yapılan baskı denemeleri için kalıp şartlandırıcı kullanılmış ve baskı yapılmaksızın kalıbın çalışma sıcaklığına gelmesi beklenmiştir. Kalıp sıcaklığının dengeye gelme süresi düz kanal kullanımında 75 dakika şekil uyumlu kanal kullanımında ise 48 dakika sürmüştür. Yapılan literatür araştırmalarında yapılan deneysel ve sayısal araştırmalarda çevrim süreleri %15-45 oranında kısaldığı görülmüştür. Bu çalışmada sunulan yöntem ile yapılan deneylerde elde edilen sonuçların da literatüre uyumlu olduğu görülmektedir.

Tablo 2. Düz ve şekil uyumlu soğutma kanallarının sürelere etkileri

Soğutma Kanalı	Soğutma Süresi, s	Çevrim Süresi s	Hazırlık Süresi min
Düz Kanal	32	44	75
Şekil Uyumlu Kanal	25	37	48

Deneme baskılarında üretilen plastik parçaların düzlemsel yüzeyleri üzerindeki çarpılma miktarları komperatör saati ile ölçülmüş ve ortalama değerleri belirlenmiştir. Şekil uyumlu ve doğrusal kanallar ile üretilen plastik parçaların üzerindeki çapılmalar Şekil 12'deki grafiklerde gösterilmektedir.



Şekil 12. Şekil uyumlu ve doğrusal kanalları kullanılarak üretilen plastik parçalar üzerindeki çarpılma miktarlarının karşılaştırılması.

Şekil uyumlu soğutma kanalı kullanılarak üretilen plastik parçalar üzerindeki ortalama çarpılma derinliği 0,12mm ve düz kanal kullanılarak üretilen plastik parçalar üzerindeki ortalama çarpılma derinliği 0,24mm olarak ölçülmüştür. Şekil uyumlu soğutma kanalı kullanımı ile çarpılma miktarı %50 oranında azalmış ve üretilen plastik parçanın kalitesi artmıştır. Literatürdeki benzer çalışmalarda çarpılma miktarındaki %25-50'lik azalma oranları ile uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuç şekil uyumlu soğutma kanallarının daha düzgün bir sıcaklık dağılımı sağladığını göstermektedir.

Deneme baskıları ile üretilen plastik parçaların ağırlıkları ölçülerek karşılaştırılmıştır. Plastik parçaların ortalama ağırlıkları Şekil 13'deki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 13. Şekil uyumlu ve doğrusal kanalları kullanılarak üretilen plastik parçaların ortalama ağırlıklarının karşılaştırılması.

Şekil uyumlu soğutma kanalı ile üretilen plastik parçaların ortalama ağırlığı 55,98gr ve doğrusal soğutma kanalı ile üretilen plastik parçaların ortalama ağırlıkları 56,57gr olarak belirlenmiştir. Şekil uyumlu kanal ile üretilen parçalar yaklaşık olarak %1 oranında daha hafiftir. Plastik enjeksiyon kalıplama işleminin çok hacimli bir seri üretim yöntemi olduğu düşünüldüğünde şekil uyumlu soğutma kanallarının kullanımı plastik malzeme tasarrufu sağlayacaktır.

4. Projenin Sonucu ve Öneriler

Bu çalışmada plastik enjeksiyon kalıplarında şekil uyumlu soğutma kanallarının soğutma sisteminin verimliliğine etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Karmaşık geometriye sahip parça için durum çalışması yapılmıştır. Plastik parçanın eğimli yüzeylerini uyumlu bir şekilde takip edecek soğutma kanalı sistematik bir metot ile tasarlanmıştır. Şekil uyumlu soğutma kanalı bulunan plastik enjeksiyon kalıbı katmanlara ayrılmış parçaların vakumlu sert lehimleme yöntemi ile birleştirilerek üretilmiştir. Kalıp öncelikle taşlanmış plakalardan parçalı olarak üretilmiş ve daha sonra vakumlu sert lehimleme yöntemi ile birleştirilmiştir.

Düz ve şekil uyumlu soğutma kanalları bulunan plastik enjeksiyon kalıpları ile baskı denemeleri yapılarak plastik parça üretilmiş ve süreler incelenmiştir. Şekil uyumlu soğutma kanalı kullanımı ile soğutma süresi 32s 'den 25s'ye düşmüş ve yaklaşık %22 oranında bir kısalma sağlanmıştır. Toplam çevrim süresi 44s'den 37s'ye düşmüştür. Kalıp sıcaklığının dengeye erişme süresi de 75 dk'den 48 dk'e düşmüştür.

Yapılan deneylerde üretilen plastik parçaların üzerindeki çarpılma miktarları ölçülerek karşılaştırılmıştır. Şekil uyumlu soğutma kanalı kullanılarak çarpılma miktarı %50 oranında azaltılmıştır.

Sunulan üretim yöntemi ile şekil uyumlu soğutma kanalları, metal lazer sinterleme gibi pahalı yöntemlere ihtiyaç duyulmadan daha düşük maliyet ile üretilebilmiştir. Hem üretim hızı hem de plastik parça üzerindeki çarpılma miktarları azaltılmıştır. Karmaşık geometriye sahip birçok plastik parça için endüstriyel düzeyde uygulanabilir bir metot sunulmuştur.

5. Geleceğe İlişkin Öngörülen Katkılar

Bu çalışmada şekil uyumlu soğutma kanalı bulunan plastik enjeksiyon kalıplarında soğutma verimliliği ve plastik parça kalitesi incelenmiştir. Şekil uyumlu soğutma kanallarına sahip kalıbın üretimi katmanlı sert lehimleme metodu ile üretilmiştir. Gelecek çalışmalarda şekil uyumlu soğutma kanallarına sahip plastik enjeksiyon kalıplarının lazer sinterleme metodu ile üretilip bu çalışmada sunulan katmanlı sert lehimleme yöntemi ile karşılaştırılabilir. Kalıp maliyeti, üretim hızı ve plastik parça kalitesi yönünden karşılaştırma yapılabilir. Ayrıca Şekil uyumlu soğutma kanallarının elde edilebilmesi için katman plakalarının difüzyon kaynağı ile birleştirilmesi yöntemi denenebilir. Yapılan bu araştırma çalışması soğutma kanallarının tasarımı ve kalıp üretimi bakımında ileride yapılacak olan çalışmalar için yol gösterici olacaktır.

6. Kaynaklar

[1] Göktaş, M., Gültaş, A., Bayraktar, Ö., “Cooling of plastic injection moulds using design adaptive cooling canals”, International Conference on Engineering and Natural Science (ICENS 2016), Sarajevo, 1987-1993, (2016).

[2] Gültaş, A., Göktaş, M., “Comparson of straight, spiral conformal and zig-zag conformal cooling channels in plastic injection molds”, International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies (ISAS 2019), Ankara, 4(1): 395-399, (2019).

[3] Göktaş, M., Gültaş, A., “Experimental Comparison of The Effects of Conformal and Straight Cooling Channels”, 2nd International Turkish World Engineering and Science Congress, November 7-10, Türkiye, 572-578, (2019).

7. Ekler

a. Proje Bütçesi (Harcamalar tablo halinde verilmelidir.)

Süre (Ay)	Başlama Tarihi	Bütçe TL.	Kalan Bütçe TL.
12	26.11.2018	22.454	7.673

Yapılan Harcamalar					
Makine ve Teçhizat	Sarf Malzeme	Hizmet alımı	Yolluk	Diğerleri	TOPLAM TL
-	10.150,50	4.630,50	-	-	14.781

b. Makine –Teçhizatın Konumu, Anabilimdalı/ Bölüm/ Fakülteye Devir Bilgisi ve devir yapıldığına dair taşınır işlem fişi)

Proje kapsamında makine ve teçhizat alımı yapılmamıştır.

c. Sunumlar (Kongre ana web sayfası, Düzenleme ve Bilim Kurulu üyeleri çıktısı, sunum tam metni, teşekkür yazısı)

1) Gültaş, A., Göktaş, M., “Comparson of straight, spiral conformal and zig-zag conformal cooling channels in plastic injection molds”, International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies (ISAS 2019), Ankara, 4(1): 395-399, (2019).

http://isassymposium.org/isas2019_ankara/isas2019_ankara.php

Düzenleme ve Bilim Kurulu üyeleri çıktısı, sunum tam metni, teşekkür yazısı ekte verilmiştir.

2) Göktaş, M., Gültaş, A., “Experimental Comparison of The Effects of Conformal and Straight Cooling Channels”, 2nd International Turkish World Engineering and Science Congress, November 7-10, Türkiye, 572-578, (2019).

<http://teskongre.org/fm2019/>

Düzenleme ve Bilim Kurulu üyeleri çıktısı, sunum tam metni, teşekkür yazısı ekte verilmiştir.

d. Yayınlar (Hakemli bilimsel dergiler, tam metni)

1) Gazi University Journal of Science (Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Entitüsü Dergisi) ‘ne “PRODUCTION OF PLASTIC INJECTION MOLDS WITH CONFORMAL COOLING CHANNELS BY LAMINATED BRAZING” başlıklı bir makale gönderilmiştir. Yayının inceleme süreci devam etmektedir.

2) Politeknik Dergisi (Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Dergisi)’ne “Plastik Enjeksiyon Kalıplamada Şekil Uyumlu Soğutma Kanalları için Soğutma Sıvısı Akış Stratejilerinin Karşılaştırılması” başlık bir makale gönderilmiştir. Yayının inceleme süreci devam etmektedir.

e. Tezler (Tez kapağı, imza ve teşekkür sayfası)

Proje kapsamında “Plastik Enjeksiyon Kalıplarında Ürün Geometrisine Uyumlu Soğutma Kanalı Optimizasyonu” konulu tez çalışması hazırlanmış ve savunma sürecine geçilmiştir.



Organization Committee

Turgut Özseven, Tokat Gaziosmanpaşa University, Turkey, Chair
Azamat Maksüdünov, Kyrgyz Turkish Manas University, Kyrgyzstan, Member
Guguli Dumbadze, Batumi Shota Rustaveli State University, Georgia, Member
Ebubekir Yaşar, Tokat Gaziosmanpaşa University, Turkey, Member
Erdal Ekici, Canakkale Onsekiz Mart University, Turkey, Member
H. Hale Künüçen, Baskent University, Turkey, Member
Köksal Erentürk, Atatürk University, Turkey, Member
Mehmed Ganic, International University of Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, Member
Mehmet Kamanlı, Konya Technical University, Turkey, Member
Pelin Gürkan Ünal, Namık Kemal University, Turkey, Member
Vahdet Özkoçak, Hitit University, Turkey, Member
Xatire Quliyeva, Azerbaijan Academy of Sciences, Azerbaijan, Member

Scientific Committee

Ahmed Hussein Aliwy, University of Kufa, Iraq
Ahmed Al-Durra, Khalifa University, UAE
Ahmad Al-Omari, Al al-Bayt University, Jordan
Ahmet Adıgüzel, Ataturk University, Turkey
Ahmet Koçak, Selcuk University, Turkey
Ali Durmuş, Erciyes University, Turkey
Ali Mutlu, Celal Bayar University, Turkey
Ali Paşa Hekimoğlu, Recep Tayyip Erdoğan University, Turkey
Ali Yılmaz Gündüz, Inonu University, Turkey
Alper Cumhur, Hitit University, Turkey
Alptuğ Ünal, Konya Technical University, Turkey
Al-Araji Hasan, University of Technology, Iraq
Alpaslan Yazar, Konya Technical University, Turkey
Alper Tunga Peker, Agri İbrahim Cecen University, Turkey
Anand S. Aswar, Sant Gadge Baba Amravati University, India
Arif Guliyev, National Aviation University, Ukraine
Arzum Işıtan, Pamukkale University, Turkey
Ayşegül Durukan, Duzce University, Turkey
Azamat Maksüdünov, Kyrgyz Turkish Manas University, Kyrgyzstan
Aziz Erkan, Sinop University, Turkey
Bahtiyar Mehmetoğlu, Tokat Gaziosmanpaşa University, Turkey
Banu Çiçek Kurdoğlu, Karadeniz Technical University, Turkey
Barış Yılmaz, Manisa Celal Bayar University, Turkey
Bekir Cengil, Çankırı Karatekin University, Turkey
Bekir Tanay, Muğla Sıtkı Koçman University, Turkey
Belgin Sırıken, Ondokuz Mayıs University, Turkey
Berna Hekimoğlu, Health Science University, Turkey
Bihter Zaimoğlu Onat, Cukurova University, Turkey
Bilgehan Kekeç, Konya Technical University, Turkey
Bilgin Taşkın, Yüzüncü Yıl University, Turkey
Levent Seyfi, Konya Technical University, Turkey
Ljiljana Trajkovic, Simon Fraser University, Canada
Loredana Judele, Gheorge, Asachi Technical University of Iasi, Romania
Lucian N. Vintan, University of Sibiu, Romania
Lütfullah Dağkurs, Tokat Gaziosmanpaşa University, Turkey
M.Emin Aydın, University of the West of England, UK
M.İlutfi Hidayetoğlu, Selçuk University, Turkey
M.Sami Döndüren, Konya Technical University, Turkey
Manina Nagervadze, Batumi Shota Rustaveli State University, Georgia
Medea Burjanadze, University of Georgia University, Georgia
Mehmed Ganic, International University of Sarajevo, Bosnia and Herzegovina
Mehmet Ekici, Yalova University, Turkey
Mehmet Kamanlı, Selçuk University, Turkey
Mehmet Yüksel, Cukurova University, Turkey
Meryem Şenay Şengül Demirak, Tokat Gaziosmanpaşa University, Turkey
Melis Attar, Selcuk University, Turkey
Mine Tülin Zateroğlu, Çukurova University, Turkey
Muhammet Baykara, Fırat University, Turkey
Muhammet Fatih Ak, Antalya Bilim University, Turkey
Muharrem Düğenci, Karabük University, Turkey
Murat Çetinkaya, Ordu University, Turkey
Murat Polat, Fatih Sultan Mehmet University, Turkey
Murtadha Kanim Adea Al-Jupory, University of Kufa, Iraq
Mustafa Canbeki Artvin Çoruh University, Turkey
Mustafa Keskinkılıç, Ataturk University, Turkey
Müslimat Allahverdiyeva, Baku Eurasian University, Azerbaijan
Nalan Kandırmaz, Mersin University, Turkey
Necaattin Barışçı, Gazi University, Turkey
Necati Özdemir, Balıkesir University, Turkey

Binnur Meriçli Yapıcı, Çanakkale Onsekiz Mart University, Turkey
Birsan Altay, Ondokuz Mayıs University, Turkey
Bishwambhar Roy, Women's Christian College, India
Burak Markal, Recep Tayyip Erdoğan University, Turkey
Burcu Begüm Kenanoğlu, Usak University, Turkey
Cagdas Allahverdi, Toros University, Turkey
Can Ünal, Namık Kemal University, Turkey
Canan Oral, Amasya University, Turkey
Cem Sinanoğlu, Erciyes University, Turkey
Cem Tokatlı, Trakya University, Turkey
Cenk Güner, Hatay Mustafa Kemal University, Turkey
Ceren Katipoğlu, Cankaya University, Turkey
Cihan Özgür, Balıkesir University, Turkey
Cüneyt Civelek, Yozgat Bozok University, Turkey
Cüneyt Kurtay, Gazi University, Turkey
Çağdaş Caz, Yozgat Bozok University, Turkey
Derya Ögüt Yavuz, Uşak University, Turkey
Derya Öztürk, Ondokuz Mayıs University, Turkey
Doğan Engin Alnak, Sivas Cumhuriyet University, Turkey
Duygu Erkan, Sinop University, Turkey
Ebubekir Yaşar, Tokat Gaziosmanpaşa University, Turkey
Ediz Gürpepek, Tokat Gaziosmanpaşa University, Turkey
Elif Bayramoğlu, Karadeniz Technical University, Turkey
Elif Merve Alpak, Karadeniz Technical University, Turkey
Emel Ceyhun Sabır, Çukurova University, Turkey
Emina Berbić Kolar, Osijek University, Croatia
Emin Arslan, Tokat Gaziosmanpaşa University, Turkey
Emine Diraman, Ondokuz Mayıs University, Turkey
Emine Gül Cansu Ergün, Baskent University, Turkey
Engin Nas, Duzce University, Turkey
Ercüment Ayazlı, Sivas Cumhuriyet University, Turkey
Erdal Ekici, Çanakkale Onsekiz Mart University, Turkey
Erdal Yılmaz, Ondokuz Mayıs University, Turkey
Erhan Çalışkan, Karadeniz Technical University, Turkey
Fadime Seçgin, Tokat Gaziosmanpaşa University, Turkey
Fahrettin Geçen, Inonu University, Turkey
Faik Alekperov, Azerbaijan National Academy of Sciences, Azerbaijan
Fatih Altun, Erciyes University, Turkey
Fatma Gonul Solmaz, Ondokuz Mayıs University, Turkey
Fuat Kara, Duzce University, Turkey
Figen Karaferye, Kutahya Dumlupınar University, Turkey
Fikret Yılmaz, Tokat Gaziosmanpaşa University, Turkey
Filiz Ersöz, Karabük University, Turkey
Filiz Tavşan, Karadeniz Technical University, Turkey

Nejla Cini, Istanbul Technical University, Turkey
Neval Topcu Altıncı, Tokat Gaziosmanpaşa University, Turkey
Nesli Tuğban Yaban, Başkent University, Turkey
Neslihan Yıldız, Pamukkale University, Turkey
Nihal Derin Coşkun, Ordu University, Turkey
Nilsun Sarıyer, Muğla Sıtkı Koçman University, Turkey
Nilüfer As, Recep Tayyip Erdoğan University, Turkey
Niyazi Bilim, Konya Technical University, Turkey
Nural Erzurum Alim, Ankara Yıldırım Beyazıt University, Turkey
Nuray Mısıır, Karadeniz Technical University, Turkey
Nurcan Bilgili Güngör, Amasya University, Turkey
Nurcan Çalış Açıkbaş, Bilecik Şeyh Edebali University, Turkey
Nurcan Süklüm, Hitit University, Turkey
Nurdoğan Topal, Usak University, Turkey
Nurettin Akçakale, Abant İzzet Baysal University, Turkey
Nurettin Bağırılmaz, Mardin Artuklu University, Turkey
Oğuzhan Yavuz Bayraktar, Kastamonu University, Turkey
Oğuzhan Yanar, Ondokuz Mayıs University, Turkey
Oktay Muhtaroğlu, Tokat Gaziosmanpaşa University, Turkey
Özgür Alparslan, Tokat Gaziosmanpaşa University, Turkey
Özgür Doğan Uluözlü, Tokat Gaziosmanpaşa University, Turkey
Özlem Demir, Tokat Gaziosmanpaşa University, Turkey
Özlem Oktay, Atatürk University, Turkey
Pelin Gürkan Ünal, Namık Kemal University, Turkey
R. Cüneyt Erenoğlu, Çanakkale Onsekiz Mart University, Turkey
Rabia Köse Doğan, Selcuk University, Turkey
Rıza Atav, Namık Kemal University, Turkey
Rüveyda Kömürlü, Kocaeli University, Turkey
Saadet Ela Pelenk, Recep Tayyip Erdoğan University, Turkey
Safarova İlham, Baku State University, Azerbaijan
Sait Barış Güner, Recep Tayyip Erdoğan University, Turkey
Saliha Erentürk, Atatürk University, Turkey
Saniye Elvan Öztürk, Aksaray University, Turkey
Seda Sucu, Tokat Gaziosmanpaşa University, Turkey
Sedef Dikmen, Anadolu University, Turkey
Selahattin Bardak, Sinop University, Turkey
Selahattin Budak, Gümüşhane University, Turkey
Selime Menteş Çolak, Ege University, Turkey
Sema Mumcu, Karadeniz Technical University, Turkey
Semcheddine Derfouf, University of Biskra, Algeria
Sena Özen Yıldırım, Çanakkale Onsekiz Mart University, Turkey
Sercan Özkeleş, Ordu University, Turkey
Serap Yılmaz, Karadeniz Technical University, Turkey
Serdal Arslan, Harran University, Turkey

Guguli Dumbadze, Batumi Shota Rustaveli State University, Georgia
 Güray Uyar, Ankara Hacı Bayram Veli University, Turkey
 Güven Çankaya, Ankara Yıldırım Beyazıt University, Turkey
 H. Hale Künüçen, Baskent University, Turkey
 Hafida Bouarfa, University of Blida, Algeria
 Hakan Keles, Bozok University, Turkey
 Hakan Kendir, Tokat Gaziosmanpaşa University, Turkey
 Hakan Polatçı, Tokat Gaziosmanpaşa University, Turkey
 Hakkı Kalaycı, Çankırı Karatekin University, Turkey
 Halil Demirer, Marmara University, Turkey
 Handan Özsrkıntı Kasap, İstanbul Gedik University, Turkey
 Hande Sezgin, İstanbul Technical University, Turkey
 Harun Sumbül, Ondokuz Mayıs University, Turkey
 Hasan Gül, Kyrgyz Turkish Manas University, Kyrgyzstan
 Hatice Ulusoy, Muğla Sıtkı Koçman University, Turkey
 Havva Dinler, Usak University, Turkey
 Hayati Olğar, Tokat Gaziosmanpaşa University, Turkey
 Hayriye Serra Altınoluk, Muğla Sıtkı Koçman University, Turkey
 Hikmet Hüseyin Çatal, Dokuz Eylül University, Turkey
 Hilal Kahveci, Bilecik Şeyh Edebali University, Turkey
 Huseyn İbrahimov, Azerbaijan Academy of Sciences, Azerbaijan
 Hülya Demirören, Fırat University, Turkey
 Hülya Kuru Mutlu, Eskişehir Osmangazi University, Turkey
 Hüzmüş Koç, Çanakkale Onsekiz Mart University, Turkey
 Hüseyin Nursoy, Bingöl University, Turkey
 Hüseyin Peker, Artvin Çoruh University, Turkey
 İlknur Aydın Avcı, Ondokuz Mayıs University, Turkey
 İbrahim Develi, Erciyes University, Turkey
 İbrahim Sevim, Karamanoğlu Mehmetbey University, Turkey
 İbrahim Uyanık, Marmara University, Turkey
 İlker Dalkıran, Erciyes University, Turkey
 İlker Yıldız, Bolu Abant İzzet Baysal University, Turkey
 İlyas Kartal, Marmara University, Turkey
 İpek Yalçın Eniş, İstanbul Technical University, Turkey
 Irakli Dochviri, Caucasus International University, Georgia
 İshak Cumhuri, Recep Tayyip Erdoğan University, Turkey
 İsmail Altın, Karadeniz Technical University, Turkey
 İsmail İşeri, Ondokuz Mayıs University, Turkey
 İsmail Tuna, Tokat Gaziosmanpaşa University, Turkey
 İsmet Sezer, Gümüşhane University, Turkey
 Kadriye Aydemir, Amasya University, Turkey
 Jamshed Iqbal, University of Jeddah, Saudi Arabia

Serdar Dizman, Recep Tayyip Erdoğan University, Turkey
 Shermukhamedova Niginakhon Arslonovna, National University of Uzbekistan, Uzbekistan
 Sibel Şardağ, Uludağ University, Turkey
 Şehla Musayeva, Azerbaijan Academy of Sciences, Azerbaijan
 Şerife Cankurtaran Sayar, Yüksek İhtisas University, Turkey
 Servet Aras, Yozgat Bozok University, Turkey
 Seyil Najimudinova, Kyrgyz Turkish Manas University, Kyrgyzstan
 Şenol Bayraktar, Recep Tayyip Erdoğan University, Turkey
 Soner Akın, Hatay Mustafa Kemal University, Turkey
 Soner Özen, Yozgat Bozok University, Turkey
 Soltan A. Alharbi, University of Jeddah Kingdom of Saudi Arabia, Saudi Arabia
 Sultan Erkan, Sivas Cumhuriyet University, Turkey
 Süleyman Adak, Mardin Artuklu University, Turkey
 Muhammet Baki Minaz, Siirt University, Turkey
 Şirin Çetin, Ondokuz Mayıs University, Turkey
 Şükrü Yıldız, Ahi Evran University, Turkey
 Tahire Allahverdiyeva, Azerbaijan National Academy of Sciences, Azerbaijan
 Tahire Özen Öztürk, Abant İzzet Baysal University, Turkey
 Tahseen Fadhil Alani, University of Technology, Iraq
 Taner Ersöz, Karabük University, Turkey
 Tarık Yazar, Ondokuz Mayıs University, Turkey
 Temel Göktürk, Artvin Çoruh University, Turkey
 Tuba Karaca, Ondokuz Mayıs University, Turkey
 Tuğba Düzenli, Karadeniz Technical University, Turkey
 Tuğçe Karaduman, Aksaray University, Turkey
 Turgut Özseven, Tokat Gaziosmanpaşa University, Turkey
 Umut Okkan, Balıkesir University, Turkey
 Ümit Ayata, Atatürk University, Turkey
 Vahdet Özkoçak, Hitit University, Turkey
 Vedat Keskin, Ondokuz Mayıs University, Turkey
 Vedat Sağlam, Ondokuz Mayıs University, Turkey
 Veysel Yılmaz, Tokat Gaziosmanpaşa University, Turkey
 Volkan Onar, Pamukkale University, Turkey
 Volkan Şenay, Bayburt University, Turkey
 Volkan Yılmaz, Karadeniz Technical University, Turkey
 Xatire Quliyeva, Azerbaijan Academy of Sciences, Azerbaijan
 Yadigar Sekerci Firat, Amasya University, Turkey
 Yavuz Kaplan, Pamukkale University, Turkey
 Yener Bektaş, Nevşehir Hacı Bektaş Veli University, Turkey
 Yılmaz Seçgin, Tokat Gaziosmanpaşa University, Turkey
 Yusuf Bozkurt, İskenderun Technical University, Turkey

Kamala Salamova, Sumqait State University, Azerbaijan
Kaveh Ostad-Ali-Askari, Islamic Azad University, Iran
Kemal Furkan Sökmen, Bursa Technical University,
Turkey
Koray Karabulut, Sivas Cumhuriyet University, Turkey
Köksal Erentürk, Atatürk University, Turkey
Kübra Ünal, Selcuk University, Turkey
Laith Ali Al-hakim, University of Kufa, Iraq

Yüksel Öner, Ondokuz Mayıs University, Turkey
Zafer Dikmen, Anadolu University, Turkey
Zakaria Boumerzoug, University of Biskra, Algeria
Zeynep Ceylan, Ondokuz Mayıs University, Turkey
Zeynep Tatlı, Trabzon University, Turkey
Zeynep Zeliha Bayazıt, Ankara University, Turkey
Zülal Akbay Arama, Istanbul University, Turkey

COMPARISON OF STRAIGHT, SPIRAL CONFORMAL AND ZIG-ZAG CONFORMAL COOLING CHANNELS IN PLASTIC INJECTION MOLDS

Abdilmecit GÜLDAŞ¹, Mustafa GÖKTAŞ^{2*+}

¹İmalat Mühendisliği / Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

²Makine Metal Teknolojileri / Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

*Corresponding author: mustafagoktas@gazi.edu.tr

⁺Speaker: mustafagoktas@gazi.edu.tr

Presentation/Paper Type: Oral / Full Paper

Abstract – Plastic injection molding is one of the widely used methods of forming plastic materials. The process of cooling the mold in injection molding has an important role in reducing the production costs and increasing the product quality. Thanks to the evolving additive manufacturing technologies, complex geometry cooling channels can be produced. In this study, the effect of the conformal cooling channels was investigated in order to increase the cooling efficiency of plastic injection molds. For the numerical analysis a plastic part with complex geometry was determined. For the cooling of the plastic injection mold, cooling channels with straight, spiral and zigzag form have been designed. In the channel design, the distances of the cooling channels to each other and to the mold cavity are controlled by a design algorithm. Numerical analysis was performed to examine the effect of the designed cooling channels. In the numerical analysis, the change in the cooling time and the temperature distribution on the plastic part were observed. The cooling time is shortened by the use of conformal cooling channels according to the cooling with the straight cooling channel. A more homogenous temperature distribution was obtained as a result of the analysis with the conformal cooling channels. It has been observed that the cooling process with the spiral cooling channel lasts for a shorter period than the cooling done with the zigzag cooling channel.

Keywords – Conformal cooling channels, Plastic injection molding, Plastic part warping, Cooling time, Additive manufacturing

I. INTRODUCTION

In the plastic injection molding process, the molten polymer is injected into the mold and then cooled in a controlled manner. The temperature of the melt polymer is reduced to the ejection temperature from the injection temperature. The cooling process is carried out with a cooling system on the mold. For low cost and high-quality production, the mold should be cooled quickly and homogeneously.

One of the most important parameters that determine the production speed is the cooling time. Shortening the cooling time significantly reduces cycle time. In addition, the temperature distribution on the surface of the mold cavity must be as homogeneous as possible to reduce the formation of warpage on the plastic part.

The commonly used method for forming cooling channels is to drill the mold plates with a drill. Although this method is suitable for plastic parts with simple geometry, it is not possible to maintain a uniform cooling of the complex surfaces [1]. In the case of a non-homogeneous temperature distribution, the plastic parts also cause problems such as warpage, sink, residual stresses [2,3].

Using of straight cooling channels, plastic parts geometry is tried to be followed. However, it cannot provide uniform cooling for complex part surfaces [4-8].

The use of conformal cooling channels come into prominence in the mold blocks, which provides a uniform temperature distribution, faster cooling and reduced distortion [9]. Various studies have been carried out on the use of conformal cooling channels for effective cooling in plastic injection molds [1-3,10-14].

Baffle and bubbler methods have been tried to cool the mold cores, but a homogeneous temperature distribution has not been exactly achieved [10]. Thanks to the advanced additive manufacturing technologies, it is possible to produce complex form cooling channels. Various methods have been used to design the conformal cooling channels, which follows the surfaces of the plastic parts [11-15].

Topological optimization studies have been carried out to reduce the costs of mold cores to be produced by the additive production method and to determine the required cooling zones [13-14].

In another study, it was tried to reduce the warpage caused by the inlet and outlet temperature difference of the cooling water. For this purpose, the distance between the cooling channel and the mold cavity is gradually shortened according to the change in the temperature of the cooling water. As a result of the numerical analysis made with the new method developed, it was determined that the cooling time decreased while the amount of the distortion decreased [15].

Voronoi curves and contour curves were used in some of the proposed methods for channel design. However, the distance between channels varies according to the surface slope. In addition, the flow in the channels cannot be fully controlled since parallel flows occur in the channels divided into branches [16].

Thermo-mechanical analyzes were performed in another study in which the conformal cooling channels were examined. An experimental design was made for different wall thicknesses, helical cylindrical and conical cooling channels of different sizes. Numerical analyzes were performed to investigate the cooling time and mechanical loads on the mold for various design parameters [17].

In this study, it is aimed to effectively cool plastic parts with complex geometry. To achieve this, the conformal cooling channels are formed in a spiral and zigzag form according to a design method [18]. Straight channels are also designed to determine the difference between straight channels and conformal channels. The results of the analysis with Ansys Fluent software were compared with the designed channels [19].

II. MATERIALS AND METHOD

For use in numerical analysis, a plastic part with complex geometry is modeled with cad software (Figure 1). Plastic parts have concave and convex surfaces. There are surfaces that are not compatible with the cooling channels on the part. The dimensions of the plastic part are 153x99x43mm and the thickness is 6mm. The draft angle on the side surfaces is 5°. The part material is ABS (Acrylonitrile butadiene styrene).



Fig. 1 Plastic part's top and bottom sides

The dimensions of the cooling channels were determined according to the wall thickness of the plastic part. For 6mm wall thickness, the channel diameter is 8mm, the distance between the two channels is 20mm and the distance between the channel and the cavity surface is 12mm (Figure 2).

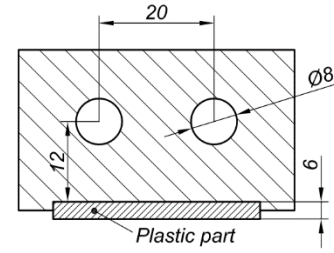


Fig. 2 Section and dimensions of cooling channels

A design algorithm was used in which the distance between the channels and the channel -cavity surface was kept constant while designing the conformal cooling channels [18]. First, the surface of the workpiece is offset. The offset distance determines the distance of the cooling channels from the mold surface. A sweep surface is formed following the boundary curve of the offset surface. The cross section of the sweeping surface is a circle. Circle radius determines the distance between channels. In the next step, the intersection curves of the offset surface and the sweep surfaces were obtained. Processes in the previous step were repeated and new sweep surfaces and new cross-sectional curves were obtained by using the formed curves.

The obtained curves were trimmed and smoothened. Then them used as the center curve of the cooling channels.

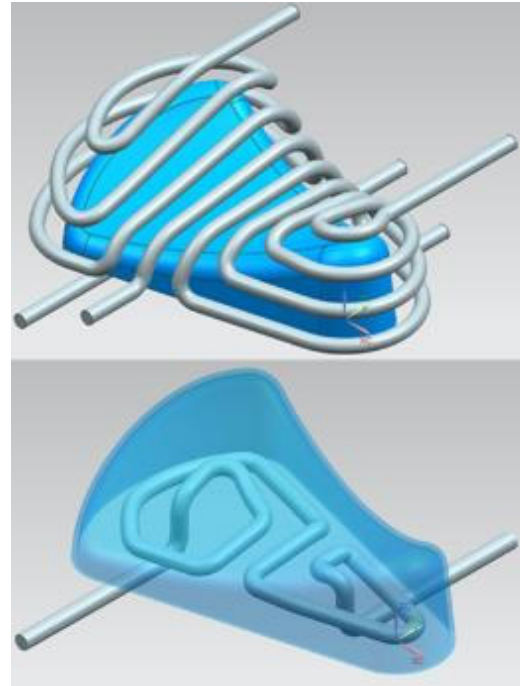


Fig. 3 Plastic part's top and bottom sides

Using the design method, the cooling channels are designed in a spiral (Figure 4a) and in a zigzag form (Figure 4b). Cooling channels are formed for both halves of the mold. In addition, the straight cooling channels used in the conventional cooling method were formed (Figure 4c).

Numerical analysis was performed to determine the efficiency of the cooling channels. Cooling analysis was performed using Ansys Fluent software. Transient analysis

was conducted to determine the variation in temperature distribution over plastic parts and molds over time.

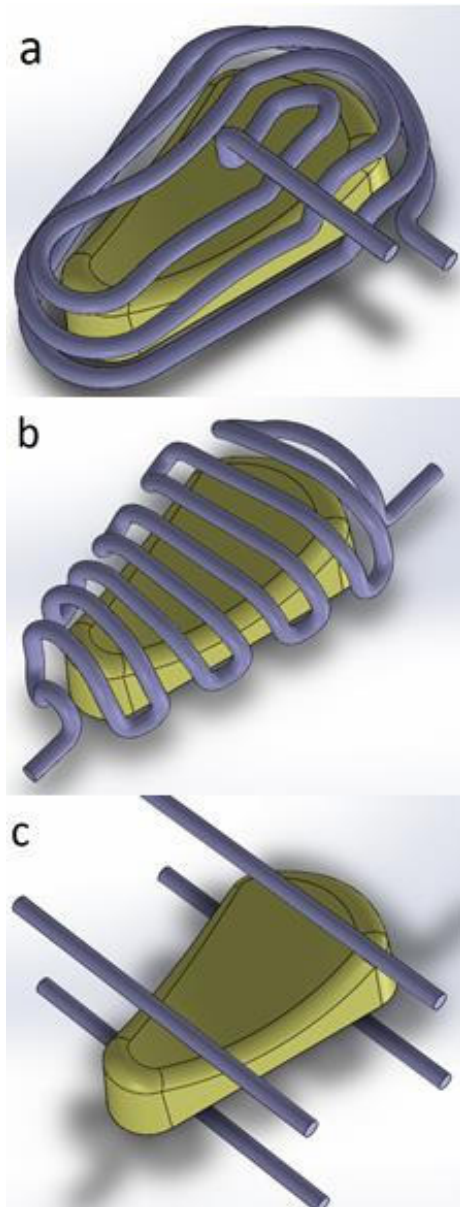


Fig. 4 Spiral, Zig-zag and straight cooling channels

The material properties used in the analysis are shown in Table 1.

Table 1. Materials in numerical analysis

Material	Density Kg/m ³	Specific Heat J/Kg-K	Conductivity W/m-K
Steel (mold material)	7800	440	14
ABS (plastic part material)	1020	1386	0,172
Water (coolant material)	998	4182	0,6

The plastic material was cooled down from the injection temperature to the ejection temperature. The boundary conditions used in the cooling analysis are shown in Table 2.

Table 2. Materials in numerical analysis

Injection temperature	230°C
Ejection temperature	90°C
Mold temperature	50°C
Coolant temperature	50°C
Mass flow rate of coolant	10lt/min

III. RESULTS

Time-dependent cooling analysis were performed. Ansys Fluent software was used for analysis. The analysis was carried out until the average temperature of the part was reduced to 90°C. According to the results, the cooling times lasted approximately 48 seconds. Figure 5 shows the temperature distributions in 48th seconds of cooling. The measured temperature value at the black point is about 4 degrees lower than the conventional method in cooling with the conformal channel.

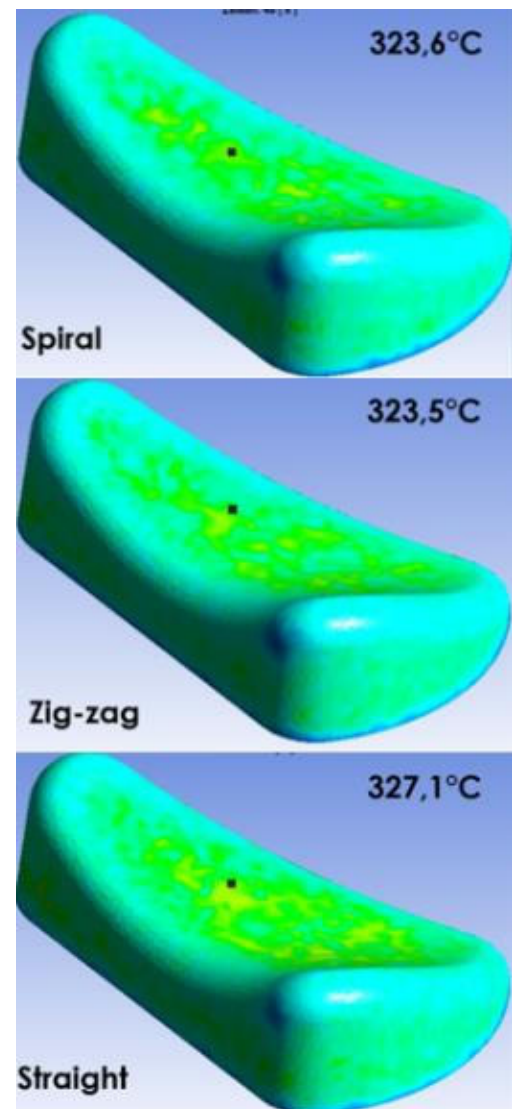


Fig. 5 Temperature distribution on part surface at 48th second of cooling process

The temperature distribution in the interior of the plastic part is shown in section in Figure 6. Molds with a shape adaptation cooling channel have a lower distribution around the mold cavity.

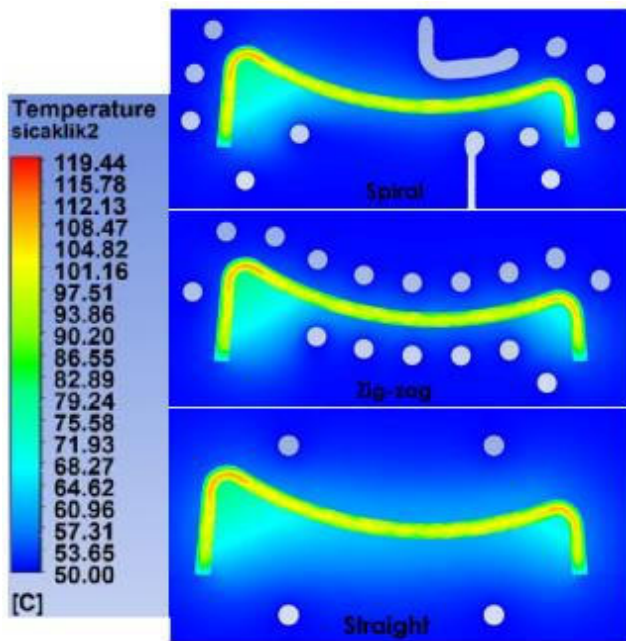


Fig. 6 Temperature distribution on section at 48th second of cooling process

It is seen that the cooling times with the zigzag and spiral cooling channels are very close to each other (Figure 7). The cooling time with the flat cooling channel is approximately 2% longer than the cooling time with the conformal cooling channels.

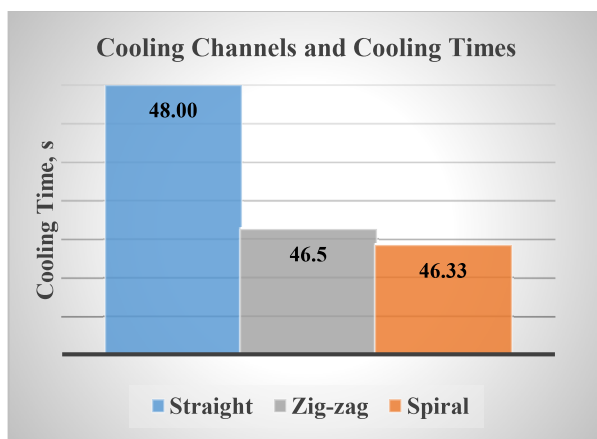


Fig. 7 Cooling times

In the analysis, the standard deviation values of the temperature distributions on the plastic part surface were investigated during the cooling periods. The lowest standard deviation was obtained by using zigzag cooling channels (Figure 8).

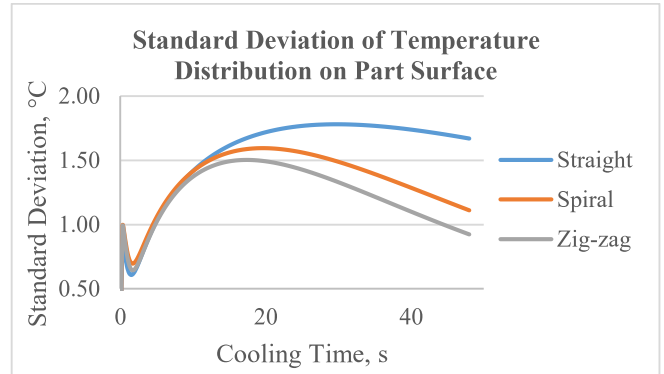


Fig. 8 Standard deviations of temperature distribution on plastic part surface

IV. DISCUSSION

When the results are examined, the cooling time difference between the conformal cooling channels and the use of the straight cooling channel is 2%. Although this difference may be low compared to the total time, it will provide significant advantages considering the high-volume production. The findings obtained are close to the findings of the literature [20].

According to the results of the analysis, the standard deviation of the temperature distribution on the part surface is lower with the use of the conformal cooling channels. Accordingly, a more homogenous cooling process has been carried out by the use of conformal cooling channels. With the new methods proposed, the amount of warping on the plastic parts will be reduced.

V. CONCLUSION

The conformal cooling channels for a plastic part with complex geometry are designed according to a design algorithm [18]. Spiral, zigzag and flat form cooling channels are designed. Cooling analysis were performed by using the created channels. The cooling time was shortened with the use of conformal cooling channels and a more homogeneous temperature distribution was obtained.

ACKNOWLEDGMENT

We would like to thank Gazi University Projects of Scientific Investigation (BAP) (07 / 2018-28) for its support to this research study.

REFERENCES

- [1] E., Sachs, E., Wyloni, S., Allen, M., Cima, H., Guo, "Production of Injection molding tooling with conformal cooling channels using the three-dimensional printing process", Polym Eng Sci, 40, 5, 1232–47, 2000.
- [2] R., Sánchez, J., Aisa, A., Martínez, D., Mercado, "On the relationship between cooling setup and warpage in injection molding", Measurement 45, 1051–1056, 2012.
- [3] H., Hassan, N., Regnier, C., Pujos, E., Arquis, G., Defaye, "Modelling the effect of cooling system on the shrinkage and temperature of the polymer by injection molding", Applied Thermal Engineering, 30(13), 1547–1557, 2010.
- [4] Y., Zhang, Z., Huang, H., Zhou, D., Li, "A rapid BEM-based method for cooling simulation of injection molding", Engineering Analysis with Boundary Elements, 52, 110 – 119, 2015.
- [5] G., Wang, G., Zhao, X., Wang, "Development and evaluation of a new rapid mold heating and cooling method for rapid heat cycle molding", International Journal of Heat and Mass Transfer 78, 99–111, 2014.

- [6] J., Jauregui-Becker, G., Tosello, F., Houten, H., Hansen, "Performance evaluation of a software engineering tool for automated design of cooling systems in injection moulding", *Procedia CIRP* 2013, 7, 270–275.
- [7] C.G., Li, C.L., Li, Y., Liu, Y., Huang, "A new C-space method to automate the layout design of injection mould cooling system", *Computer-Aided Design*, 44, 811–823, 2012.
- [8] G., Wang, G., Zhao, X., Wang, "Heating/cooling channels design for an automotive interior part and its evaluation in rapid heat cycle molding", *Materials and Design*, 59, 310–322, 2014.
- [9] X.; Xu, E.; Sachs, S.; Allen, M., Cima, "Designing conformal cooling channels for tooling", In *Proceedings of the Solid Freeform Fabrication*, Austin, TX, USA, pp. 131–146, August 1998.
- [10] K., Eiamsa-ard, K., Wannissorn, "Conformal bubbler cooling for molds by metal deposition process", *Computer-Aided Design*, 69, 126–133, 2015.
- [11] Y., Wang, K., Yu, C., Wang, "Spiral and conformal cooling in plastic injection molding", *Computer-Aided Design*, 63, 1–11, 2015.
- [12] X., Xu, E., Sachs, S., Allen, "The Design of Conformal Cooling Channels in Injection Molding Tooling", *Polymer Engineering and Science*, 41, No. 7, 2001.
- [13] T., Wu, S., Jahan, P., Kumaar, A., Tovar, H., El-Mounayri, J., Zhang, D., Acheson, K., Brand, R., Nalim, "A Framework for Optimizing the Design of Injection Molds with Conformal Cooling for Additive Manufacturing", *Procedia Manufacturing*, 1, 404-415, 2015.
- [14] A., Agazzi, V., Sobotka, R., LeGoff, Y., Jarmy, "Optimal cooling design in injection moulding process A new approach based on morphological surfaces", *Applied Thermal Engineering* 52, 170-178, 2013.
- [15] K.M., Au, K.M., Yu, "Variable Distance Adjustment for Conformal Cooling Channel Design in Rapid Tool", *Journal of Manufacturing Science and engineering*, 136, 1-9, 2014.
- [16] Yu, Wang, k., Yu, C.C.L., Wang, y. Zhang, "Automatic design of conformal cooling circuits for rapid tooling." *Computer-Aided Design* 43,8, 1001-1010, 2011.
- [17] S., Jahan, H. El-Mounayri, "A Thermomechanical Analysis of Conformal Cooling Channels in 3D Printed Plastic Injection Molds", *Applied Sciences*, 8,12, 2567, 2018.
- [18] M., Göktaş, A., Güldaş, Ö., Bayraktar, "Cooling of Plastic Injection Moulds Using Conformal Cooling Canals", *ICENS International Conference on Engineering and Natural Science*, 24-28 May 2016, Sarajevo
- [19] Ansys Fluent, 2019, <https://www.ansys.com/products/fluids/ansys-fluent>
- [20] M. S., Shinde, K. M. Ashtankar, "Effect of different shapes of conformal cooling channel on the parameters of injection molding", *Computers Materials & Continua*, 55, 1, 287-306, 2018.



Bilim Kurulu

Prof. Dr. Abdül Rezak Abu Tair (The British University in Dubai Engineering Faculty)

Prof. Dr. Adilkhan Zhangaziye (Taraz State Pedagogical University – Kazakistan)

Prof. Dr. Abdıkalkov Akılbek Abdıkalkovich (Kırgız Devlet İnşaat, Ulaşım ve Mimarlık Üniversitesi-Kırgızistan)

Prof. Dr. Adel ElKordi (Beirut Arab University)

Prof. Dr. Agron Bajraktari (Kosova Ferizaj University)

Prof. Dr. Ali Dişli (Gazi Üniversitesi)

Prof. Dr. Ali Fuat Boz (Sakarya Üniversitesi)

Prof. Dr. Andres Seco (University Of Navarre, Urban And Agriculture)

Prof. Dr. Əlizadə Rasim İsmayıl oğlu (Azərbaycan Teknik Üniversitesi – Azərbaycan)

Prof. Dr. Əliyev Əli Binnət oğlu (Azərbaycan Mimarlık ve İnşaat Üniversitesi – Azərbaycan)

Prof. Dr. Əhmədov Hikmət İnşalla oğlu (Bakü Devlet Üniversitesi- Azərbaycan)

Prof. Dr. Germán F. De La Fuente (Zaragoza University Engineering Faculty)

Prof. Dr. İbrahim Tükenmez (Gazi Üniversitesi)

Prof. Dr. Jamal Khatib (Beirut Arab University)

Prof. Dr. Jerzy Smardzewski (Poznan University)

Prof. Dr. John Kinuthia (University Of South Wales, Engineering Faculty)

Prof. Dr. Luis Alberto Angurel (Zaragoza University Engineering Faculty)

Prof. Dr. Marat Zhurinov (National Academy of Science of the Kazakhstan)

Prof. Dr. Md Shahriar Hossain (University Of Wollongong Australia)

Prof. Dr. Musayev Nağı Alməmməd oğlu (Bakü Devlet Üniversitesi- Azərbaycan)

Prof. Dr. Neamullah Khan (NCEAC University of Sindht)

Prof. Dr. Najib Cheggour Florida State University)

Prof. Dr. Naoyuki Amemiya (Kyoto University Engineering Faculty)

Prof. Dr. Nihat Sinan IŞIK (Gazi Üniversitesi)

Prof. Dr. Tayirov Mitalip Tayirovich (Batken Devlet Üniversitesi – Kırgızistan)

Prof. Dr. Pascal Nzokou (Michigan State University)

Prof. Dr. Recep Birgül (Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi)

Prof. Dr. Saleh Sultansoy (Tobb Teknoloji Üniversitesi)

Prof. Dr. Selami Candan (Gazi Üniversitesi)

Prof. Dr. Zulkhayir Mansurov (Institute of Combustion Problems- Kazakistan)

Prof. Dr. Halim Boussabaine, Project Management

Prof. Dr. Kareem Tahboub Mechanical Engineering

Prof. Dr. Şixəliyev Namiq Qürbət oğlu (Bakü Devlet Üniversitesi- Azərbaycan)

Doç. Dr. Zafer Üsündağ (Dumlupınar Üniversitesi)

Prof. Dr. Zulpuyev Abdivap Zupuyevich (Batken Devlet Üniversitesi – Kırgızistan)

Prof. Dr. Qocayev Niftalı Mehralı oğlu (Bakü Mühendislik Üniversitesi- Azerbaycan)

Doç. Dr. Giuseppe Loprencipe (Department of Civil Engineering, Construction and Environmental, Sapienza University of Rome)

Dr. Margaret Carter (Manchester University)

Dr. Mahsa Seyyedean Choobi (Technical University Of Denmark)

Dr. Michael Lisyuk (Director for Development Georeconstruction Group of Companies)



Düzenleme Kurulu

Prof. Dr. Seyhan FIRAT İnşaat Mühendisliği Gazi Üniversitesi (Başkan)
Prof. Dr. Haluk KORALAY Fizik Gazi Üniversitesi (Başkan Yardımcısı)
Prof. Dr. Hayri DUMAN Biyoloji Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. İsmail USTA Tekstil Mühendisliği Marmara Üniversitesi
Prof. Dr. Bilal TOKLU Endüstri Mühendisliği Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Gürkan ÖZDEN İnşaat Mühendisliği Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. M. Hakan HOCAOĞLU Elektronik Mühendisliği Gebze Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Ramazan KAÇAR İmalat Mühendisliği Karabük Üniversitesi
Prof. Dr. Mehmet Akif BAKIR İstatistik Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Cevdet SÖĞÜTLÜ Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Ömer Faruk BAY Elektrik-Elektronik Mühendisliği Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Murat KOCA Kimya Adıyaman Üniversitesi
Prof. Dr. Şükrü ÇAVDAR Fizik Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Oğuzhan HASANÇEBİ İnşaat Mühendisliği Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. İsmail ŞAHİN Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Gazi Üniversitesi
Doç. Dr. Özcan YALÇINKAYA Kimya Gazi Üniversitesi
Dr. Ömer ASAL İmalat Mühendisliği Gazi Üniversitesi
Dr. Uğur ARABACI Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Gazi Üniversitesi

EXPERIMENTAL COMPARISON OF THE EFFECTS OF CONFORMAL AND STRAIGHT COOLING CHANNELS

ŞEKİL UYUMLU VE DÜZ SOĞUTMA KANALLARININ ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI

Mustafa GÖKTAŞ^a, Abdulmecit GÜLDAŞ^b

^a Technical Sciences Vocational School, Gazi University, Ankara, Turkey, E-mail: mustafagoktas@gazi.edu.tr

^b Faculty of Technology, Gazi University, Ankara, Turkey, E-mail: aguldas@gazi.edu.tr

Özet

Plastik enjeksiyon kalıplama, plastik malzemeleri şekillendirmek için yaygın olarak kullanılan üretim yöntemlerinden birisidir. Enjeksiyon kalıplamada kalıbın soğutulması işlemi üretim maliyetlerinin düşürülmesi ve ürün kalitesinin artırılmasında önemli bir role sahiptir. Plastik enjeksiyon kalıplarında soğutma sisteminin verimliliğinin artırılması için araştırmalar devam etmektedir. Soğutma sisteminin etkinliğinin artırılması için kullanılan yöntemlerden bir tanesi de plastik parça geometrisini takip eden şekil uyumlu soğutma kanallarının kullanımıdır. Bu çalışmada plastik enjeksiyon kalıplarında soğutma sisteminin verimliliğinin artırılması için şekil uyumlu soğutma kanallarının etkisi incelenmiştir. Örnek bir çalışma için karmaşık geometrili bir plastik parça belirlenmiştir. Plastik enjeksiyon kalıbının soğutulması için düz ve şekil uyumlu spiral soğutma kanalları tasarlanmıştır. Şekil uyumlu soğutma kanallarının tasarımı için sistematik bir yöntem kullanılmıştır. Kanal tasarımında soğutma kanallarının birbirlerine ve kalıp boşluğuna olan uzaklıkları bir tasarım algoritması ile kontrol edilmiştir. Şekil uyumlu soğutma kanalları bulunan kalıp çekirdekleri frezeleme işlemine uygun olacak şekilde öncelikle plakalar halinde üretilmiştir. Üretilen plakalar vakumlu sert lehimleme yöntemi ile birleştirilmiştir. Tasarlanan soğutma kanallarının etkisini incelemek için üretilen kalıp ile deneme baskıları yapılmıştır. Yapılan deneylerde soğutma süresinin değişimi ve plastik parça üzerindeki sıcaklık dağılımı gözlemlenmiştir. Düz soğutma kanalı ile yapılan soğutmaya göre şekil uyumlu soğutma kanallarının kullanımıyla soğutma süresi kısalmıştır. Şekil uyumlu soğutma kanalları ile yapılan denemelerde toplam çevrim süresi kısalmış ve üretim hızı artırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Şekil uyumlu soğutma kanalları, Plastik enjeksiyon kalıpcılığı, Soğutma süresi

Abstract

Plastic injection molding is one of the manufacturing methods commonly used to forming of plastic materials. In injection molding, the cooling of the mold has an important role in reducing production costs and improving product quality. Research continues to improve the efficiency of the cooling system in injection molds. One of the methods used to increase the efficiency of the cooling system is the use of conformal cooling channels following the geometry of the plastic part. In this study, the effect of conformal cooling channels was investigated to increase the efficiency of cooling system in plastic injection molds. For an exemplary study, a plastic part with complex geometry was determined. Straight and conformal spiral cooling channels are designed for cooling the plastic injection mold. A systematic method was used for the design of the conformal cooling channels. In the channel design, the distance of the cooling channels to each other and the mold cavity was controlled by a design algorithm. The mold cores with the conformal cooling channels are firstly produced in plates to suit the milling process. Produced plates are joined by vacuum brazing method. In order to examine the effect of the designed cooling channels, the test molds were made with the mold produced. In the experiments, the change of cooling time and the temperature distribution on the plastic part were observed. The cooling time is shortened by the use of conformal cooling channels compared to cooling with the straight cooling channels. Total cycle time has been shortened and production speed has been increased in trials with conformal cooling channels.

Keywords: Conformal cooling channels, Plastic injection molding, Cooling time

1. Giriş

Plastik enjeksiyon kalıplama, plastik malzemelerin şekillendirilmesinde yaygın olarak kullanılan üretim yöntemlerinden bir tanesidir. Plastik malzeme ergitilerek bir pres vasıtası ile bir kalıp boşluğu içine enjeksiyon yapılır. Kalıp içerisindeki ergiyik malzemenin kısa sürede ve kontrollü bir biçimde soğutulması için bir soğutma sistemine ihtiyaç duyulur. Soğutma için kalıp bloğuna açılan deliklerden soğuk su geçirilerek soğutma işlemi gerçekleştirilmektedir. Soğutma süresi toplam çevrim süresinin yaklaşık yüzde 80’lik bir kısmını oluşturduğu için üretim hızını önemli ölçüde etkilemektedir [1]. Plastik enjeksiyon kalıplarının soğutulması işlemi üretim hızı ve ürün kalitesi üzerinde önemli bir role sahiptir [2, 3]. Üretim maliyetlerinin azaltılması ve ürün kalitesinin artırılması için soğutma sisteminin etkinliği iyileştirilmelidir.

Soğutma sisteminde kullanılan delikler kalıp bloğu matkap ile delinerek oluşturulmaktadır. Matkap ile delinen delikler de doğrusal olduğu için düz kanallar elde edilmektedir [4,5]. Düz soğutma kanalları düzlemsel olmayan yüzeyleri sabit bir uzaklık ile takip edemediği için düzenli bir soğutma sağlanamamaktadır [6]. Soğutma işlemi ergiyik plastiğin tüm bölgelerinde aynı hızda olmayacağından plastik malzeme çarpık bir şekilde katılaşacaktır. Düz soğutma kanalının ekseninin düzlemsel olmayan yüzeylere olan mesafesi yüzeyin eğimine göre farklılık göstermektedir [7]. Bu nedenle karmaşık geometriye sahip plastik parçalar için kanal yüzey arası mesafeyi koruyan daha uyumlu bir soğutma sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Soğutma kanalının konumu eş sıcaklık dağılımının elde edilmesinde kritik bir role sahiptir [8]. İyi bir soğutma sistemi, hızlı ve eş sıcaklık dağılımını sağlamak olan iki önemli göreve sahiptir [9].

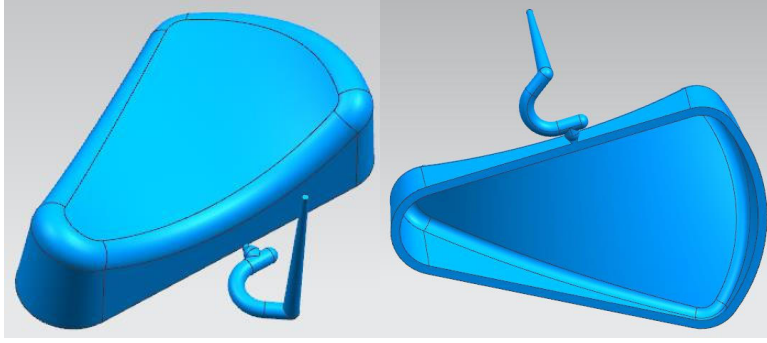
Plastik enjeksiyon kalıplarında iyi bir soğutma sistemi için plastik parçanın şekline uyumlu soğutma kanalları kullanılmaktadır [10-13]. Metal lazer sinterleme teknolojileri sayesinde doğrusal olmayan soğutma kanalları bulunan plastik enjeksiyon kalıplarının üretimi mümkün hale gelmiştir. Bu yöntem soğutma kanallarının tasarımında matkap ile delme yöntemindeki olan sınırlamalar ortadan kaldırmaktadır. [14]. Metal lazer sinterleme yöntemi ile üretilen ürünler gözenekli yapıdan dolayı plastik enjeksiyon kalıpları için gereken mekanik özellikler düşük kalmaktadır. Ayrıca gözenekli yapı nedeni ile ısı iletkenlik düşmektedir. Henüz oldukça pahalı olan metal lazer sinterleme yöntemi ile ilgili malzeme iyileştirme çalışmaları devam etmektedir [15, 16].

Plastik enjeksiyon kalıpları üzerinde şekil uyumlu soğutma kanallarının üretimi için endüstriye daha uygun yöntemler araştırılmaktadır. Bu amaçla yapılan bazı denemelerde istenilen geometriye sahip soğutma kanalları kalıp plakalarının arka yüzeyleri frezeleme ile işlenerek elde edilmeye çalışılmıştır [17-20]. Yapılan bir başka çalışmada ise katmanlı üretim yöntemi denenmiştir [21]. Kalıp bloğu katmanlar halindeki ince levhalar birleştirilerek üretilmiştir. Diğer bir yöntemde de kaynaklı metal biriktirme ile şekil uyumlu soğutma kanalına sahip plastik enjeksiyon kalıbı imal edilmiştir [22].

Literatür araştırmaları şekil uyumlu soğutma kanallarına sahip kalıp plakalarının üretimi için daha uygulanabilir üretim yöntemlerine ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Ayrıca şekil uyumlu soğutma kanallarının nasıl tasarlanacağı netlik kazanmış değildir. Önceki çalışmada şekil uyumlu soğutma kanalları sistematik bir tasarım yöntemi ile tasarlanmıştır [23, 24]. Devamı olan bu çalışmada şekil uyumlu soğutma kanallarının üretiminde katmanlı sert lehimleme yöntemi kullanılarak deneysel bir çalışma yapılmıştır [25-28]. Sayısal analiz ve baskı denemeleri yapılarak düz soğutma kanallarına göre elde edilen iyileştirmeler incelenmiştir.

2. Yöntem

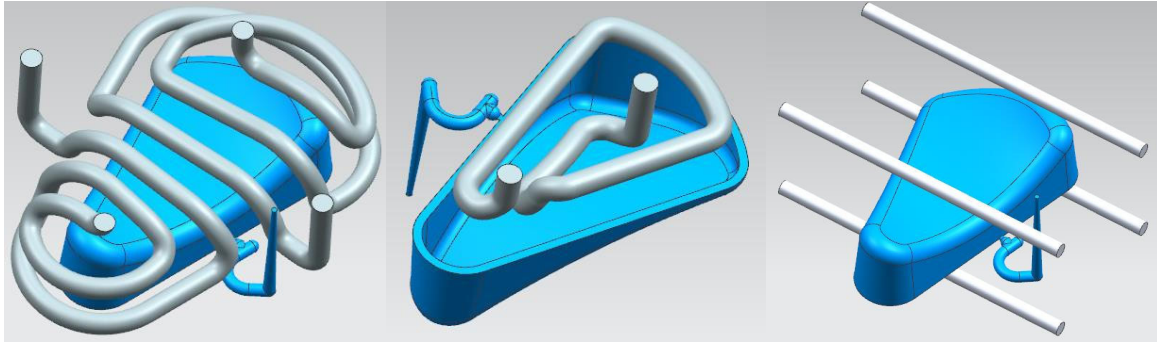
Deneysel çalışma için eğimli yüzeylere sahip bir plastik parça tasarımı yapılmıştır (Şekil 1). Plastik malzeme ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren) olarak belirlenmiştir. Et kalınlığı 3,5mm olan plastik parçanın boyutları 149x94x41mm’dir.



Şekil 1. Plastik parça, yolluk ve giriş.

Şekil uyumlu soğutma kanalları daha önceki çalışmada geliştirilen sistematik bir tasarım metodu kullanılarak tasarlanmıştır [K20a]. Kalıbın hem erke hem dişi yarımaları için şekil uyumlu soğutma kanalları tasarlanmıştır (Şekil 2). Kanal boyutları, kanalların birbirlerine ve kalıp boşluğuna olan uzaklıkları plastik parçanın et kalınlığına göre belirlenmiştir [K26]. Kanal çapı 10mm, kanallar arası mesafe 25mm ve kanal ile kalıp boşluğu arası mesafe 17mm'dir.

Şekil uyumlu soğutma kanalları ile düz soğutma kanalı arasındaki farkının incelenebilmesi için düz soğutma kanalları da tasarlanmıştır (Şekil2). Kalıbın her iki yarımında ikişer tane olmak üzere matkapla delinerek elde edilmiş dört adet doğrusal delikten oluşmaktadır. Aynı kalıp yarımında olan düz soğutma kanalları kalıp dışında hortumlar ile seri olarak bağlanmıştır.



Şekil 4. Şekil uyumlu soğutma kanalları (solda ve ortada), düz soğutma kanalı (sağda).

Plastik parça ve soğutma kanalları ve plastik enjeksiyon kalıbı Unigraphics NX yazılımı kullanılarak modellenmiştir. Elde edilen CAD modelleri ile Moldflow yazılımı kullanılarak sayısal analizler yapılmıştır. Sayısal analiz kapsamında dolum, ütüleme ve soğuma analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizlerde kullanılan parametreler Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Enjeksiyon parametreleri.

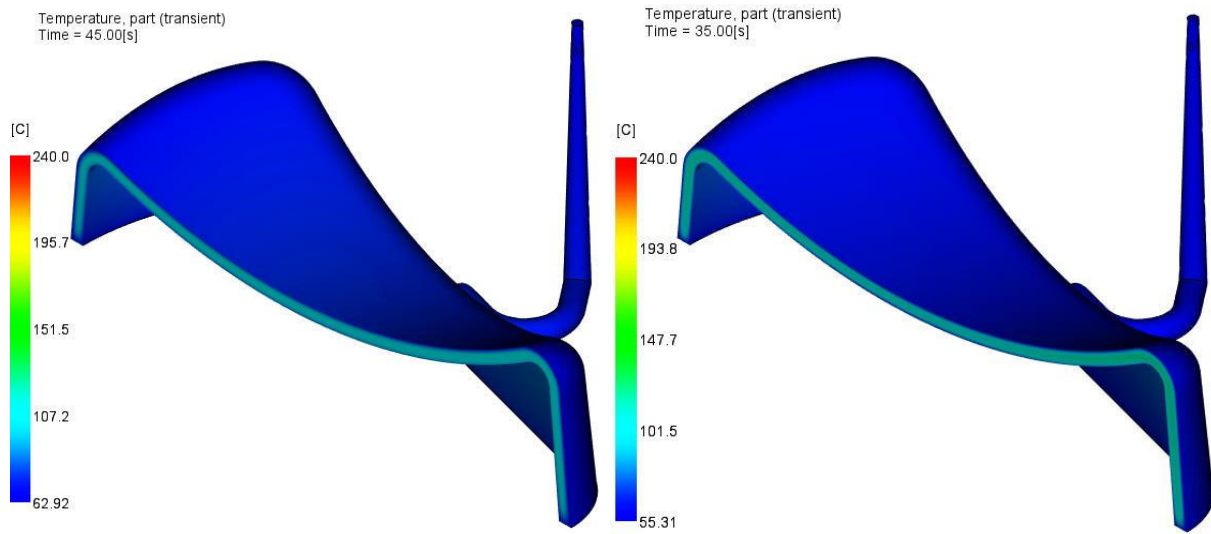
Plastik malzeme	ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren)
Ergiyik sıcaklığı	240°C
Kalıp sıcaklığı	60°C
Çıkarma sıcaklığı	90°C
Enjeksiyon basıncı	45 Bar
Ütüleme basıncı	30 Bar
Soğutma suyu debisi	10lt/dk

Tasarlanan kalıp çekirdekleri katmanlı sert lehimleme yöntemi kullanılarak üretilmiş ve kalıp setine montajı yapılmıştır. Ayrıca karşılaştırma yapmak üzere doğrusal soğutma kanallarına sahip kalıp çekidekileri de üretilmiştir. Kalıp, plastik enjeksiyon makinesine bağlanarak Çizelge 1'de gösterilen enjeksiyon parametreleri kullanılarak baskı denemeleri yapılmıştır. Kalıp sıcaklığının sabit

tutulabilmesi için kalıp şartlandırıcı kullanılarak kalıba giren su sıcaklığı kontrol edilmiştir. Kalıptan çıkan plastik parçanın sıcaklığı kızılötesi termometre ile sürekli ölçülmüştür. Soğutma süreleri, çıkan parça sıcaklığının plastik malzeme üreten firmanın tavsiye ettiği çıkarma sıcaklığına erişecek şekilde belirlenmiştir.

3. Bulgular

Analiz sonuçlarına göre düz soğutma kanalı kullanıldığında çevrim süresi 45s sürmüştür. Şekil uyumlu soğutma kanalı kullanımıyla bu süre 35s'ye düşmüştür. Soğutma süreleri ise düz ve şekil uyumlu kanal tipleri için 40s ve 30s olarak hesaplanmıştır. Soğutma ve çevrim sürelerinde 10s'lik bir kısalma hesaplanmıştır. Düz kanal için 35. saniyede ve şekil uyumlu kanal için 35. saniyede plastik parça üzerindeki sıcaklık dağılımları Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Düz (solda) ve şekil uyumlu (sağda) soğutma analizi sonuçları.

Düz ve şekil uyumlu soğutma kanalları bulunan plastik enjeksiyon kalıpları imal edilerek deneme baskıları yapılmıştır. Deneme baskıları sonucu üretilen plastik parça Şekil 6'da görülmektedir. Yapılan deneyler sonucunda soğutma ve çevrim süreleri belirlenmiştir (Çizelge 2). Buna göre düz soğutma kanalı ile yapılan baskılarda soğutma süresi 32s ve çevrim süresi 44s sürmüştür. Şekil uyumlu soğutma kanalı ile yapılan baskılarda ise soğutma süresi 25s ve çevrim süresi 37s sürmüştür. Soğutma ve çevrim sürelerinde 7s'lik bir kısalma tespit edilmiştir.



Şekil 6. Üretilen plastik parça.

Çizelge 2. Düz ve şekil uyumlu soğutma kanallarının sürelere etkileri.

	<i>Soğutma Süresi</i>	<i>Çevrim Süresi</i>
<i>Düz Kanal</i>	32s	44s
<i>Şekil Uyumlu Kanal</i>	25s	37s

4. Sonuç

Plastik enjeksiyon kalıplarında soğutma verimliliğini artırmak için kullanılan şekil uyumlu soğutma kanalları etkisinin incelenmesi için sayısal ve deneysel bir çalışma yapılmıştır. Karmaşık geometriye sahip bir plastik parça için şekil uyumlu soğutma kanalları sistematik bir tasarım metodu ile tasarlanmıştır. Şekil uyumlu soğutma kanallarına sahip kalıp çekirdekleri katmanlı sert lehimleme yöntemi ile üretilmiştir. Karşılaştırma yapmak üzere düz soğutma kanallarına sahip kalıp çekirdekleri de bilgisayar ortamında modellenerek tasarlanmıştır.

Yapılan sayısal analizler sonucunda şekil uyumlu soğutma kanalı kullanımıyla çevrim süresi 45s'den 35s'yeye soğutma süresi de 40s'den 30s'yeye düşmüştür. Şekil uyumlu ve düz soğutma kanalına sahip kalıplar ile baskı yapılarak plastik parça üretimi gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde soğutma süresi 32s'den 25s'yeye düşmüştür. Çevrim süresi ise 44s'den 37s'yeye düşerek yaklaşık olarak %19'luk bir kısalma sağlanmıştır.

5. Teşekkür

Bu araştırmaya sağladığı destekten dolayı Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri'ne (BAP) teşekkür ederiz. (Proje Numarası: 07/2018-08)

Kaynaklar

1. Qiao, H., "A systematic computer-aided approach to cooling system optimal design in plastic injection molding", International journal of mechanical sciences, 48(4): 430-439, (2006).
2. Dimla, D. E., M. Camilotto, F. Miani., "Design and optimisation of conformal cooling channels in injection moulding tools", Journal of Materials Processing Technology, 164: 1294-1300, (2005).
3. Yadegari, M., Masoumi, H., Gheisari, M., "Optimization of cooling channels in plastic injection molding", International Journal of Applied Engineering Research, 11(8): 5777-5780, (2016).
4. Wang, G. L., Zhao, G. Q., Wang, X. X., "Heating/cooling channels design for an automotive interior part and its evaluation in rapid heat cycle molding", Materials & Design, 59: 310-322, (2014).
5. Li, C. G., Li, C. L., Liu, Y., Huang, Y., "A new C-space method to automate the layout design of injection mould cooling system", Computer-Aided Design, 44(9): 811-823, (2012).
6. Kovács, J. G., Sikló, B., "Investigation of cooling effect at corners in injection molding", International Communications in Heat and Mass Transfer, 38(10): 1330-1334, (2011).
7. Altaf, K., Raghavan, V. R., Rani, A. M. A., "Comparative thermal analysis of circular and profiled cooling channels for injection mold tools", Journal of Applied Sciences, 11(11): 2068-2071, (2011).

8. Hassan, H., Regnier, N., Lebot, C., Pujos, C., Defaye, G., "Effect of cooling system on the polymer temperature and solidification during injection molding", *Applied Thermal Engineering*, 29(8-9): 1786-1791, (2009).
9. Zhou, H., Li, D., "Mold cooling simulation of the pressing process in TV panel production", *Simulation Modelling Practice and Theory*, 13(3): 273-285, (2005).
10. Saifullah, A. B. M., Masood, S. H., Sbarski, I., "New cooling channel design for injection moulding", *Proceedings of the World Congress on Engineering*, 1:1-4, (2009).
11. Khan, M., Afaq, S. K., Khan, N. U., Ahmad, S., "Cycle time reduction in injection molding process by selection of robust cooling channel design", *ISRN Mechanical Engineering*, 2014:1-8, (2014).
12. Kitayama, S., Tamada, K., Takano, M., Aiba, S., "Numerical and experimental investigation on process parameters optimization in plastic injection molding for weldlines reduction and clamping force minimization", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 97(5-8): 2087-2098, (2018).
13. Lu, C. T., Chen, C. H., Tseng, S. C., "Application of conformal cooling to reduce cooling time and warpage of a U-shaped plate", *AIP Conference Proceedings*, 2065(1): 030007, (2019).
14. Shinde, M. S., Ashtankar, K. M., "Additive manufacturing-assisted conformal cooling channels in mold manufacturing processes", *Adv. Mech. Eng.*, 9(5): 1687814017699764, (2017).
15. Åsberg, M., Fredriksson, G., Hatami, S., Fredriksson, W., Krakhmalev, P., "Influence of post treatment on microstructure, porosity and mechanical properties of additive manufactured H13 tool steel", *Materials Science and Engineering: A*, 742: 584-589, (2019).
16. Jahan, S. A., Wu, T., Zhang, Y., Zhang, J., Tovar, A., Elmounayri, H., "Thermo-mechanical design optimization of conformal cooling channels using design of experiments approach", *Procedia Manufacturing*, 10: 898-911, (2017).
17. Rahim, S. Z. A., Sharif, S., Zain, A. M., Nasir, S. M., Mohd Saad, R., "Improving the quality and productivity of molded parts with a new design of conformal cooling channels for the injection molding process", *Advances in polymer technology*, 35(1): 21524, (2016).
18. Dang, X. P., Park, H. S., "Design of U-shape milled groove conformal cooling channels for plastic injection mold", *International Journal of precision engineering and manufacturing*, 12(1): 73-84, (2011).
19. Ferreira, J. C., Mateus, A., "Studies of rapid soft tooling with conformal cooling channels for plastic injection moulding", *Journal of Materials Processing Technology*, 142(2): 508-516, (2003).
20. Sun, Y. F., Lee, K. S., Nee, A. Y. C., "Design and FEM analysis of the milled groove insert method for cooling of plastic injection moulds", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 24(9-10): 715-726, (2004).
21. Ahari, H., Khajepour, A., Bedi, S., "Laminated injection mould with conformal cooling channels: optimization, fabrication and testing", *Journal of Machinery Manufacturing and Automation*, 2(2): 16-24, (2013).

22. Eiamsa-Ard, K., Wannissorn, K., "Conformal bubbler cooling for molds by metal deposition process", *Computer-Aided Design*, 69: 126-133, (2015).
23. Göktaş, M., Gülüdaş, A., Bayraktar, Ö., "Cooling of plastic injection moulds using design adaptive cooling canals", *International Conference on Engineering and Natural Science (ICENS 2016)*, Sarajevo, 1987-1993, (2016).
24. Gülüdaş, A., Göktaş, M., "Comparison of straight, spiral conformal and zig-zag conformal cooling channels in plastic injection molds", *International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies (ISAS 2019)*, Ankara, 4(1): 395-399, (2019).
25. Bryden, B. G., Pashby, I. R., "Hot platen brazing to produce laminated steel tooling", *Journal of Materials Processing Technology*, 110(2): 206-210, (2001).
26. Esmati, K., Omidvar, H., Jelokhani, J., Naderi, M., "Study on the microstructure and mechanical properties of diffusion brazing joint of C17200 Copper Beryllium alloy", *Materials & Design*, 53: 766-773, (2014).
27. Bryden, B. G., Pashby, I. R., Wimpenny, D. I., Adams, C., "Laminated steel tooling in the aerospace industry", *Materials & Design*, 21(4): 403-408, (2000).
28. Yoo, S., Walczyk, D. F., "A preliminary study of sealing and heat transfer performance of conformal channels and cooling fins in laminated tooling", *Journal of manufacturing science and engineering*, 129(2): 388-399, (2007).



T.C.
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü



Sayı : 56497898-302.99-
Konu : Mustafa GÖKTAŞ Hk.

İLGİLİ MAKAMA

Enstitümüz İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Doktora programına kayıtlı Mustafa GÖKTAŞ, tez aşamasında olup "Plastik Enjeksiyon Kalıplarında Ürün Geometrisine Uyumlu Soğutma Kanalı Optimizasyonu" adlı tez konusu ile ilgili çalışmalarını, Enstitümüz Yönetim Kurulu Kararıyla belirlenen danışmanı İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Öğretim Üyesi Prof. Dr. Abdulmecit GÜLDAŞ ile birlikte yürütmektedir.

Bu belge ilgilinin isteği üzerine düzenlenmiştir.
Bilgilerinizi rica ederim.

e-imzalıdır
Prof. Dr. İsmet YÜKSEL
Enstitü Müdür Yardımcısı

