

PLASTİK ENJEKSİYON MAKİNALARI SEÇİMİ

Yazar: Dr. Eberhard Duffner¹
Çeviren: Mehmet Çobanoğlu²

1. GİRİŞ

Plastik enjeksiyon makinaları hakkındaki bu yazı, 1990-2020 yılları arasında plastik enjeksiyon makinaları üretimi yapan Arburg firmasının ARGE bölümünde çalışmış ve

bölümü yönetmiş olan Dr. Eberhard Duffner tarafından yazılmış ve Kunststoffe International plastik teknolojisi dergisinin Ağustos 2021 sayısında yayınlanmıştır. [1]

Dr. Eberhard Duffner Arburg plastik makinalarının bugünkü düzeye gelmesinde önemli bir rol oynamıştır ve Mayıs 2012'de Alman Mühendislik Kuruluşu (VDI) tarafından plastik teknolojisi alanındaki uzmanlığı ve endüstriye katkıları dolayısıyla ödüllendirilmiştir. Orijinali İngilizce olan bu yazı, Mehmet Çobanoğlu tarafından Türkçe'ye çevrilmiştir.

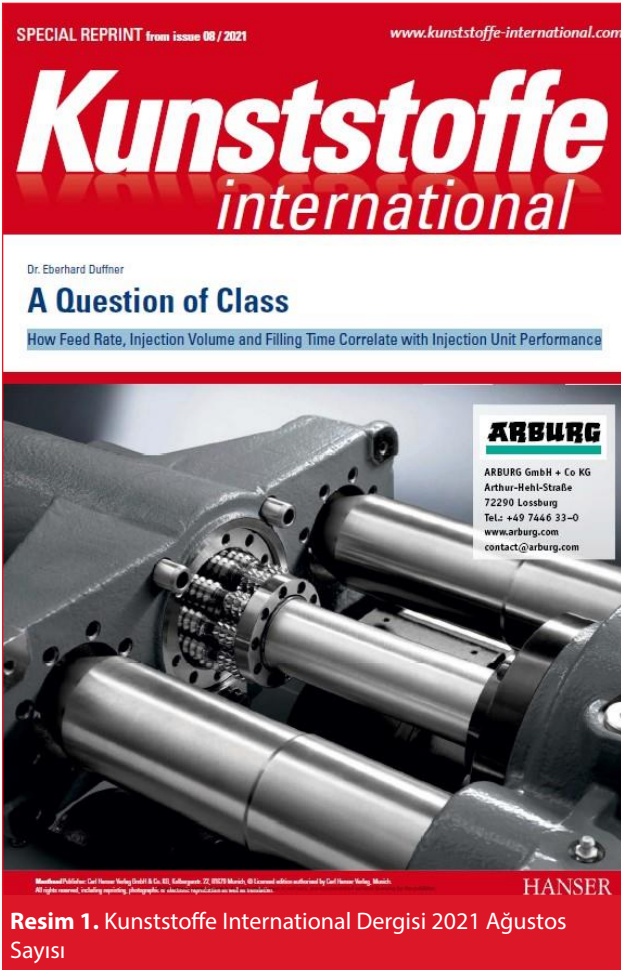
2. DOĞRU MAKİNA SEÇİMİ

Vida hızı, enjeksiyon hacmi ve dolum zamanı ile enjeksiyon ünitesi arasında nasıl bir bağlantı vardır?

Hangi uygulama için nasıl bir makina gereklidir? Hızlı olan aynı zamanda güçlü müdür?

Bu gücün makina fiyatına etkisi nedir?

Eğer bu soruların yanıtını makina kataloglarına bakarak bulmak isterseniz, size kötü bir haberimiz var. Ne yazık ki tüm makina üreticileri katalog değerlerini aynı koşullar altında belirlemez. Hatta bazı makina üreticileri katalog değerlerini öyle farklı koşullar altında belirler ki, farklı markaların kataloglarını karşılaştırmak elma ile armudu kıyaslamak gibidir. Ayrıca enjeksiyon hacmi ve enjeksiyon hızının yanında dolum zamanı ve parça ağırlığı da makina seçiminde önümüze çıkan önemli etmenlerdir. Yazının ilerleyen kısımlarında, yüksek gücün her zaman başarı anlamına gelmeyeceğini fakat fizik kurallarının her zaman geçerli olduğunu açıklayacağız.



Resim 1. Kunststoffe International Dergisi 2021 Ağustos Sayısı

¹ Fizik Bölümü Doktoru, Arburg GmbH, Almanya

² Makina Mühendisi, Arburg Plastik Enjeksiyon Makinaları, Teknik Satış Mühendisi - mehmet_cobanoglu@arburg.com

Peki, bununla neyi kastediyoruz? Bunun için hepimizin gözünde canlandırabileceği bir örnek verelim. Tatilini Alp dağlarında geçirmeyi planlamış bir sürücümüz olsun. Bu sürücünün bir adet SUV model aracı, bir adet spor arabası ve bir adet römorku var. İki araçta hemen hemen aynı güce sahiptir, 250 kW ya da yaklaşık olarak 350 hp. Peki, sürücü hangi iki araçla hedefine daha rahat gider ve hangi araçla Alplere tırmanmak daha keyifli olur? Acaba sürücü SUV aracını römorka yükleyip, spor araçla mı gitmeli? Ya da tam tersi mi daha iyi olur? Herhalde herkes bu soruya içgüdüsel olarak aynı yanıtı verir.

Eğer bu benzetmeyi plastik enjeksiyon dünyasına taşırsak, yanıtı bulmak bu kadar kolay olmayacaktır. Bunun bir nedeni, değişen sürücü teknolojisi nedeniyle sektöre katılan birçok üreticinin aynı zamanda takım tezgâhi sektöründen gelmesidir. Bu nedenle, enjeksiyon hızı bazen mm/s olarak, bazen de cm³/s olarak belirtilir. Kataloglarda yer alan diğer standart veriler ise vida çapı, baskı hacmi ve enjeksiyon basıncı ile bağlantılıdır. Bu veriler, 2.000 bar karşı basınç altında ve 1 D vida strokunda belirlenir. Bu değerlerin doğruluğunun onaylandığını da belirtmek isterim. Avrupa'da üretilmiş birçok kalıp ve vida bu kuvvetler altında çalışmaya uyarlanmıştır.

3. TEKNİK KATALOGLAR ve MAKİNA KARŞILAŞTIRMASI

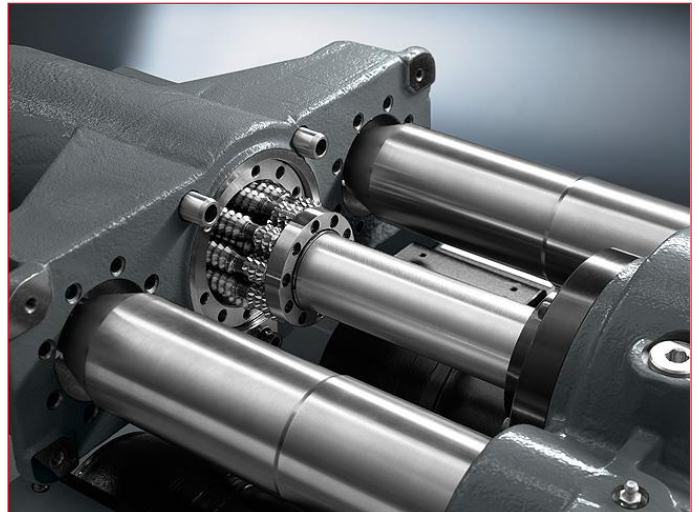
Basınç faktörü olmadan veya kısıtlı ütüleme zamanları (Ütüleme(tutma) basıncının uygulandığı zaman aralığı) kullanılarak elde edilen, dipnotlarda "teorik" diye adlandırılan hızlar, pek anlamlı değildir. Katalogdaki ya da kontrol ünitesindeki teorik değerler enjeksiyon zamanını hesaplamak için yeterli olmakla birlikte, pratikte bu değerlerle doğru sonuca varılamaz. Örnek olarak, 1.000 mm/s olan "teorik" enjeksiyon hızı, basit olarak motorun enjeksiyon süresi boyunca, teorik olarak bu hızı sağlayabilecek devirde dönebileceğini belirtir. Burada gözden kaçan iki noktadan ilki bu hesaplamada karşı basınç göz önüne alınmaz. İkincisi ise ergiyik plastiğin kalıp içinde oluşan karşı basınç nedeniyle kalıba gönüllü bir şekilde akmayacağı gerçeğinin gözden kaçmasıdır. Ayrıca enjeksiyon hızı arttıkça karşı basınç da artacaktır. Sonuç olarak enjeksiyon basıncı gereksinimi de bununla birlikte artacaktır. Buna ek olarak tabii ki ütüleme basıncına en yüksek hızla

başlamak da olası değildir. Çünkü enjeksiyondan ütülemeye geçerken, eğer yavaşlama olmazsa, kalıbın içine fazla ergiyik plastik dolacak ve parçada çapak oluşacaktır. Bu yüzden uygulamada, yani işlem sırasında bu hıza asla ulaşılmaz.

4. HİDROLİK ENJEKSİYON ÜNİTESİ, ELEKTRİKLİ ENJEKSİYON ÜNİTESİNE KARŞI

Modern hidrolik enjeksiyon üniteleri, programlanan en yüksek enjeksiyon hızında, istenilen en yüksek enjeksiyon basıncına (2.000 bar) ulaşmak için az bir oranda bir "ek" sistem basıncına gereksinim duyarlar. En azından güncel hidrolik enjeksiyon ünitelerinin teknik katalogları buna göre tasarlanır. Hızlı ve hassas enjeksiyon işlemi için tasarlanan hidrolik güç kaynaklı enjeksiyon üniteleri genelde bir servo valf ile birlikte çalışır ve hız olarak elektrikli ünitelerden çok farklı değillerdir. Bu ünitelerde sistemde depolanmış enerji kullanılabilir ve yüksek hızlara çıkılabilir. Yalnız bu noktada enjeksiyon eksenini ve vida ucu için gerekli elektrikli gücün doğrudan ana şebeke-den sağlandığını da belirtmek gerekir. Ayrıca elektromekanik çözümlere oranla, piyasada ticari olarak yer alan hidrolik enjeksiyon ünitelerinin ağırlıkları, neredeyse hiç önemli değildir.

Elektromekaniksel sistemlerde diğer bir önemli unsur ise içsel atalettir. Fener milini (Spindle) harekete geçirmek ya da şanzıman ve servomotoru gerekli son hıza çıkarmak için içsel ataletin yenilmesi gerekir. Bunu başarabilmek



Resim 2. ARBURG "Planetary Roller Screw Drive"

için kurulu gücün ve var olan torkun en azından %50'sinin bu amaç için kullanılması gerekir. Servo-elektrik sürücülerin hızları büyük ölçüde mekanik tasarıma bağlıdır. ARBURG, ALLDRIVE ve HIDRIVE model makinalarında kendi geliştirdiği "planetary roller screw drive (bilyalı planet dişli tahriği)" sistemini kullanır. ARBURG'un kendi tasarımı ve üretimi olan bu sistem, yüke karşı dayanıklı ve uzun ömürlü olup, hassas pozisyonlama yapılabilir.

Teknik ayrıntılara çok girmeden anlatmak gerekirse, elektrikli enjeksiyon ünitelerinin mekanik tasarımı ve üretim yöntemi son ürün aşamasında hayati önem taşır. Bu makinalarla çıkılabilen yüksek hızlar ve en yüksek başarımlar, makina bedelini ve plastik enjeksiyon işleminde başarılabilecekleri önemli ölçüde etkiler. Yazının başında verdiğimiz örneğe dönecek olursak, 800 kg ağırlığındaki bir spor araba üzerinde 2.500 kg ağırlığında bir SUV bulunan römorku çekerek 0'dan 100 km/h hıza artık 3 saniyede çıkamaz. Aslında %15 eğimli bir yokuşu patinaj yapmadan çıkabileceği bile soru işaretidir.

5. FARKLI UYGULAMALAR ve FARKLI MAKİNA SINIFLARI

Enjeksiyon makinaları, dolun zamanı dikkate alınıp, farklı uygulamalar göz önünde bulundurularak üç sınıfa ayrılır (Tablo 1). Uygulamaların büyük çoğunluğunu dolun zamanı 0,3 saniyeden yüksek olan teknik parçalar oluş-

Tablo 1. Parçaların Dolun Zamanları

Uygulama	Dolun zamanı (1D)	Sık kullanılan hammadde
Teknik parçalar, kalın cidarlı parçalar	> 0,3 s	PA12, PBT
İnce cidarlı parçalar	0,1 – 0,3 s	PP, PE
Özel uygulamalar	< 0,1 s	PEEK

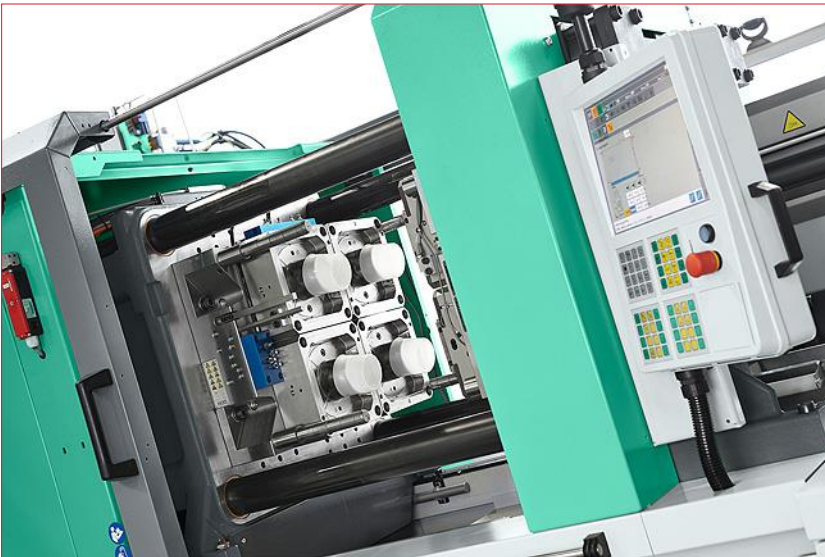
turur. Doğrudan hidrolik güç alan makinalar genel olarak bu sınıflamadaki parçaların üretimi için tasarlanmıştır. Dolun zamanı 0,1 saniyeden az olan parçaların üretiminde ise bu işleme özel olarak uyarlanmış, özel makinalar gerekmektedir. Ayrıca her üreticinin bu tarz makinalar sunmadığını da belirtmek isterim.

Bu sınıfa örnek olarak, elektronik endüstrisinde PEEK (Polietereketon) hammaddesiyle üretilen yüksek sıcaklığa dayanıklı ve ince cidarlı uygulamaları verebiliriz. Daha somut bir örnek olarak ise akıllı telefonların şarj girişlerini gösterebiliriz.

Klasik plastik enjeksiyon uygulamalarının dolun zamanları yaklaşık olarak 0,1-0,3 saniyedir. Bu uygulamalarda poliolefin kullanılarak bardak (Resim 3), kova ve kapak üretilir. Yine bahsedilen uygulamalarda akış yolu-cidar oranları 100 ila 300:1 arasında değiştiği için işlem sırasında yüksek enjeksiyon hızları gerekmektedir. Bu nedenle, bu tarz uygulamalarda şimdiye kadar daha çok hidrolik akümülatörle desteklenen makinalar kullanılıyordu. Ancak günümüzde yüksek başarımlı elektrikli ve hibrit makinalar yaygınlaşmaktadır. Burada bir noktaya dikkatinizi çekmek gerekirse, "yüksek başarımlı" göreceli bir kavramdır ve hangi değeri kaynak aldığınıza göre değişkenlik gösterir.

6. ÜÇ BOYUTLU DÜŞÜNMEK – VİDA ÇAPI ETKİSİ

Enjeksiyon makinalarının teknik başarı göstergelerinden bir tanesi de mm/s cinsinden enjeksiyon hızıdır. Burada kullanılan mm/s cinsinden hız, takım tezgahları endüstrisinden gelir. Bu terim bir eksenin (burada vidanın yer aldığı enjeksiyon eksenini), lineer



Resim 3. Tipik Bir Yüksek Hızlı Plastik Enjeksiyon İşlemi (Enjeksiyon Süresi Çok Kısa Olan 4 Gözlü Bir Kova Uygulaması)



Resim 4. Vida Çapı Küçüldükçe, Aynı Miktarda Eriyik [cm³] Hammaddeyi Kalıba Enjekte Etmek İçin Daha Yüksek Lineer Vida Hızı [mm/s] Gerekmetedir

hızını gösterir. Eğer enjeksiyon hızı yerine motorlu bir aracın hızından bahsetseydik, SI birim sistemine göre bu hızı km/Saat cinsinden alabilirdik. Fakat enjeksiyon makinasında işleyiş farklıdır. Makina enjeksiyon ünitesi, kalıbı mm/s cinsinden dolduramaz. Enjeksiyon ünitesi belirlenen hacimde ergiyik halindeki plastik hammaddeyi kalıba gönderir. İşte burada vida çapı öne çıkar (Resim 4).

Aynı boyuttaki bir enjeksiyon makinasında, farklı çapta vidalar yeğlenebilir. Peki, bu ne anlama gelir? Aynı lineer hız altında eğer vida çapları farklıysa, kalıp dolum süreleri değişecektir. Avrupalı üreticilerde vida çapları genellikle 25, 30 ve 35 mm gibi, 5 mm aralıklarla değişirler. Diğer üreticiler ise 28, 32 ve 46 mm gibi vida çapları kullanırlar. Bu bakımdan sadece lineer hız referans olarak; başarı temelinde makina kıyası yapmak pek anlamlı değildir.

7. KALIP DOLUM ZAMANI

Enjeksiyon işlemi için uygulamada önemli olan bir diğer etmen de kalıp dolum zamanıdır. Dolum işlemi, dolum simülasyonlarının esas olarak temel aldığı dolum zamanıyla karakterize edilir. Bu yüzden ilgili değişken; birim zamanda enjekte edilen hacim olan enjeksiyon

akış hızıdır (Q). İlk kontrol ünitelerinin geliştirilmeye başladığı 1970'li yılların sonundan beri ARBURG enjeksiyon akış hızını kullanmaktadır. Bu değer yıllardır ARBURG makina kataloglarında cm³/s cinsinden belirtilmektedir. 2016 yılında tanıtımı yapılan ve kontrol ünitesi özelinde bir çığır açan Gestica kontrol ünitelerimizde de enjeksiyon akış hızı cm³/s olarak belirtilmektedir, Resim 5'teki Gestica kontrol ünitesinde görülen grafikten de anlaşılacağı gibi enjeksiyon süresi 0,13 saniye olarak en uygun konuma getirilmiştir.

Bir dolum simülasyonu için gerekli veri de buraya taşınabilir ve "aXw Control FillAssist" özelliğiyle kontrol ünitesi üzerinden simülasyon yapılabilir. Resim 6'da ekranın altında bulunan barda, enjeksiyon hacmi görülmektedir.

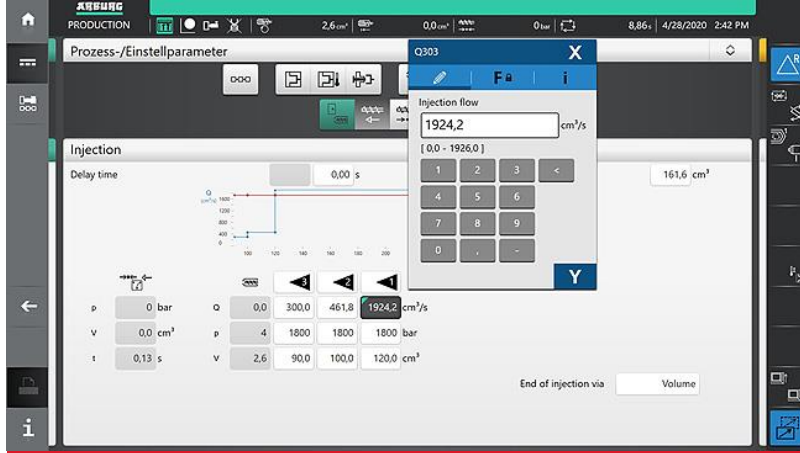
Birçok enjeksiyon makinası en fazla 3,5 - 4,5D arası vida strokuyla çalışabilir. Fakat bu yalnızca dolum zamanı birkaç saniye olan kalın cidarlı parçalar için geçerlidir. İnce cidarlı uygulamaların yoğun olduğu ambalaj sektöründe baskı hacmi olarak genelde 1D vida stroku kullanılır. Bu uygulamalarda üç bölge ve malzeme işleme hacmine uygun vidalar kullanılır. Sınıflandırma ve kıyas için çok büyük bir gösterge olan dolum zamanı, 1 D vida strokundaki ergiyik hammaddenin kalıba dolabileceği süredir. Bu süre, hammaddeden ve üretilen parçadan bağımsız olarak, çok önemli bir teknik gösterge ve sınıflandırma aracıdır. Parça hacminin %95'inden fazlası bu aşamada kalıba gönderilmelidir.



Resim 5. Arburg'da Test Edilen, 500 ml Hacmindeki IML bir PP Kovanın Üretimi Sırasında Kaydedilen Ekran Görüntüsü



Resim 6. ARBURG Gestica Kontrol Ünitesinde Yapılan Bir Dolum Simülasyonu



Resim 7. Enjeksiyon Akış Hızını ve Basıncını Görmek İçin Gestica Kontrol Ünitesinden Alınan Bir Ekran Görüntüsü

Dolum işlemi için önemli bir diğer etmen de seçilen enjeksiyon ünitesi ve makinede gerçekleştirilecek dolum süreci içerisinde, kalıba hangi miktarda ergiyik hammadde gönderileceğidir. Bu bizlere makina kataloglarında enjeksiyon akış hızının neden mm/s değil de cm³/s olarak belirtildiğine ilişkin başka bir dayanak sunar.(Resim 7’de enjeksiyon akış hızı 1.924,2 cm³/s, enjeksiyon basıncı ise 1.800 bar değerindedir.

Bu nedenle katalogda yer alan değerler, vida çapına göre belirlenmiştir. Böylece katalog değerleri istenilen plastik parça özelinde kolay bir şekilde hesaplanabilir. Burada hammaddenin özgül ağırlığı 1 g/cm³, parça hacmi 50 cm³ ve gerekli dolum zamanı 0,1 saniye alınmalıdır. Bu verilere göre enjeksiyon akış hızının en az 500 cm³/s olacağı

sonucuna varılır. Elektrikli sürücüler, ünite ağırlığından bağımsız olarak kısa sürelerde hızlanmalı ve fren yapmalıdır. Bu bakımdan bu değeri 2 ile çarpmak gerekir. Bu durumda bu uygulama için enjeksiyon hızı yaklaşık 1.000 cm³/s olmalıdır.

8. ENJEKSİYON AKIŞ HIZI ve DOĞRUSAL VİDA HIZI

Lineer vida hızı ve vida çapı varken, enjeksiyon akış hızı için aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$Q = \pi \times \frac{1}{4} D^2 \times v$$

Q = enjeksiyon akış hızı [cm³/s]

$\pi \approx 3,14$

D = çap [cm]

v = hız [cm/s]

Lineer vida hızı 200 mm/s (20 cm/s) olursa, 35 ve 28 mm çapındaki vidalar için enjeksiyon akış hızları şu şekildedir:

• 35 mm vida çapı için:

$$3,14 \times \frac{1}{4} \times 3,50 \text{ cm}^2 \times 20 \text{ cm/s} = 192,33 \text{ cm}^3/\text{s}$$

• 28 mm vida çapı için:

$$3,14 \times \frac{1}{4} \times 2,80 \text{ cm}^2 \times 20 \text{ cm/s} = 123,09 \text{ cm}^3/\text{s}$$

28 mm çapındaki vidayla 192 cm³/s değerindeki enjeksiyon akış hızına ulaşmak için lineer vida hızımız 313 mm/s olmalıdır. Yani 35 mm çapındaki vida için gereken hızın 1,5 katından fazla bir hız gerekmektedir. Sonuç olarak eğer dolum süresi sabitse, vida çapı küçüldükçe aynı hacimde plastik ergiyiği kalıba göndermek için daha yüksek lineer vida hızı gereklidir.

Hangi enjeksiyon ünitesinin hangi uygulamaya uygun olduğunu belirlemek için; dolum zamanı, parça (ya da baskı) ağırlığı ve gerekiyorsa hammadde yoğunluğu bilinmelidir. Plastik ergiyiğin özgül ağırlığının aksine, işlem sonucunda ortaya çıkmış parçanın gerçek ağırlığı çok daha kolay belirlenebilir. Bu bakımdan her plastik enjeksiyon mühendisinin masasında küçük bir tartı vardır. Pratik olarak, bu ağırlığı ve kalıba enjekte edilecek ergi-

yık hacmini kullanarak, burada örnek olarak poliolefinler için yoğunluk 1 g/cm³ alınabilir. Teknik katalogları kaynak olarak enjeksiyon işlemimize uygun olan üniteyi kabaca belirleyebiliriz. Günümüz makinalarında bulunan kontrol üniteleri PvT diyagramlarını esas alarak çok daha sağlıklı hesaplamalar yapmaktadır.

9. ENJEKSİYON ÜNİTESİ SEÇİMİ

Yine basit bir örnek üzerinden ilerleyelim. 5 gram ağırlığında tükenmez kalem üretmek istiyoruz. Kalıp 8 gözlü ve yolluk ağırlığı 30 gram ise baskı ağırlığımız 70 gram olur. İstenilen dolun zamanı 0,5 saniye ve böylece enjeksiyon akış hızımız $2 \times 70 / 0,5 = 280 \text{ cm}^3/\text{s}$ olur. Burada 1 D vida strokunda en az $280 \text{ cm}^3/\text{s}$ enjeksiyon akış hızına sahip ve baskı ağırlığı minimum 70 cm³ olan bir ünite gereksinimimizi karşılayacaktır. Elde ettiğimiz bu değerleri esas alarak, teknik kataloglar yardımıyla yapacağımız enjeksiyon işlemi için uygun olan üniteyi kolay bir şekilde seçebiliriz. Bununla birlikte eğer katalogda enjeksiyon hızı mm/s cinsinden yazılmışsa, bu değeri cm³/s olarak hesaplamamız gerekir.

10. EUROMAP: STANDART ENJEKSİYON ÜNİTESİ BOYUTLARI

Enjeksiyon ünitelerinin adlandırılması, Euromap 1 standartına göre belirlenmiştir ve teknik kataloglarda bu şekilde belirtilir. Bu değer, ünitenin enjekte edebileceği en fazla malzeme hacmi (cm³) ve en fazla enjeksiyon basıncı (kbar) hesaplanarak ortaya çıkmıştır. Ortaya çıkan bu değer daha sonra fiyat / performans karşılaştırmaları için de kullanılmaktadır. Örnek olarak: Euromap standardına göre 800 diye adlandırılan bir enjeksiyon ünitesi birçok durumda; 50 mm vida çapı, 200 mm vida stroku ve maksimum 2.000 bar enjeksiyon basıncına sahiptir.

Belirttiğimiz gibi Euromap standardına göre belirtilen enjeksiyon ünitesi adlandırılmasını (sayısal olarak) sağlayabilmek için enjeksiyon baskı hacmi (ya da en yüksek strok) ve enjeksiyon basıncı gereklidir. Strok ya da baskı hacmini arttırmak, motor gücünü arttırmaya göre daha az masraflı olduğundan, birçok makina üreticisi daha küçük vida çaplarını yeğler. Sonuç olarak yüzey alanı küçüldüğü için daha fazla strok, daha fazla L/D oranı ve doğal olarak daha yüksek enjeksiyon hızı gerekir. Aksi halde planlanan

dolum zamanını sağlayamayız. İnce cidarlı bir uygulama için örnek verelim. Uygulamamızda baskı hacmi 100 cm³ (yaklaşık 1D vida stroku), dolun zamanı 0,2 saniye ve enjeksiyon akış hızı 1.000 cm³/s olsun. Aynı boyuttaki enjeksiyon ünitesinde 50 mm çapında vida kullanılırsa 510 mm/s; 45 mm çapında vida kullanılırsa 630 mm/s enjeksiyon hızı gerekir. Bu değer, makina katalogunda sayısal olarak yaklaşık %23 fazla gözüke de işlem açısından iki kat değere eşittir.

11. VIDA UCUNA İLETİLEN YÜKSEK GÜÇ

Ne yazık ki Euromap 4 standartında belirtilen ve enjeksiyon ünitesi etkin gücünü gösteren değerler, kataloglarda yer almaz. Bunun nedeni, özellikle elektrikli enjeksiyon ünitelerinde vidaya ulaşabilecek en fazla gücün fiyata da yansımalarıdır.

Güç için aşağıdaki eşitlik kullanılabilir.

$$L = P/10 \times Q$$

L = güç [W]

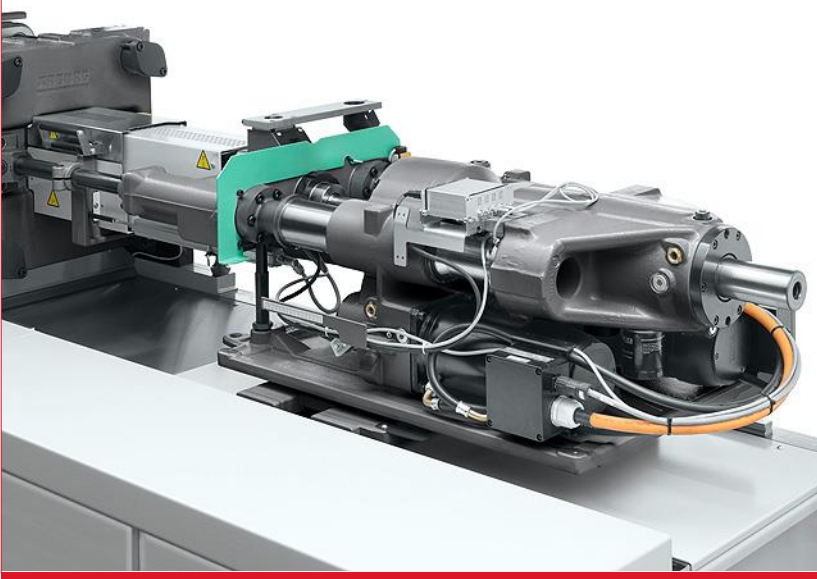
P = basınç [bar]

Q = enjeksiyon akış hızı [cm³/s]

Bir önceki başlıkta kullandığımız örneğe geri dönelim. Buradaki ünite 200 kW gücündedir. Vidanın ucuna en yüksek gücü iletmek için ilk önce tüm sistem ivmelenmelidir. Elektrikli ünitelerde tasarım, önemli bir rol oynar.

Burada Newton'un hareket kanunları bir kez daha devreye girer. Bilinen bütün tasarımları göz önüne alınırsa, ilk hareketi başlatmak için gerekli kuvvetin 0,5 ila 1 katına denk gelen ek bir kuvvet gerekir. Yukarıdaki ince cidar uygulamasını baz alırsak, 400 kW gücündeki motor, tepe noktası performansına kısa sürede ulaşabilir. Yazının başında değinilen tatil ve araç örneği bir kez daha karşımıza çıkmaktadır.

Daha küçük bir vida çapı, beraberinde daha küçük bir yüzey alanı getirir. Böylece aynı basıncı oluşturmak için daha az kuvvet gerekir. Ayrıca gözden kaçırmamız gereken bir diğer nokta da, enjeksiyon evresi boyunca en yüksek enjeksiyon basıncının kullanılıp kullanılmayacağıdır. İnce cidar uygulamaları için tasarlanmış enjeksiyon üniteleri, kısa dolun zamanları ve yüksek performans



Resim 8. 290 Boyutunda Servo Elektrik Motorlu Enjeksiyon Ünitesi

sağlar. Bu üniteler dolun süreleri, örneğin 10 saniye olan kalın cidarlı optik parçaların üretimi için çok uygun değildir. Bu parçaların üretimi sırasında enjeksiyon ve ütüleme basınçlarının uzunca bir süre uygulanması nedeniyle basınçlarda dalgalanma ve silindirde aşırı ısınma oluşabilir.

Burada asıl merak edilen konulardan biri de istenilen enjeksiyon hızında oluşacak gücün ne kadarının vida ucuna ulaşacağıdır? Ayrıca ince cidarlı uygulamalar özelinde bu performansın dinamik ve statik olarak nasıl sürdürülebileceği de önemlidir? Hidrolik enjeksiyon ünitelerinde ise uzun yıllardır üstünde çalışılan akümülatör teknolojisi ve düşük ataletli servo valfler kullanılır. Yukarıdaki örnek için sadece 20 kW civarında sürekli bir şarj gücü yeterlidir. Yeni nesil elektrikli motorlarda, bu sorunu çözmek için gerekli enerjinin nasıl depolanacağı üzerine çalışmalar sürmektedir. Bu enerjiyi elektrikli veya mekanik olarak depolamak şu anda olanaklı değildir. Bu açıdan halen tek çözüm, şebeke akımını kullanmaktır. Bu ek işlemin elektrik motorları üzerinde olumsuz bir etkisi vardır ve bu nedenle bu makinalar farklı bir fiyat aralığında yer alır.

Buna ek olarak enjeksiyon ünitesi boyutu büyüdükçe, doğal olarak ünite ağırlığı artacağı için yüksek başarımlı ve yüksek hız kavramı ortadan kalkar. Bu nedenle elektrikli enjeksiyon üniteleri, belirli büyüklüklere kadar üretilirler. Doğaldır ki ilerleyen senelerde maliyetlerin düşmesiyle elektrikli enjeksiyon ünitelerindeki çeşitlilik de artacaktır (Resim 8).

Tüm bu zorluklara karşın, son yıllarda elektrikli enjeksiyon makinalarına artan bir istek vardır. Hatta dolun zamanı 0,1-0,3 saniye arasında olan ambalaj (packaging) uygulamalarında bile elektrikli makinalar yeğlenmektedir. Araba örneğimize dönersek, bu ağır bir römorkla yokuş tırmanmaktan çok,

bu şekilde yüzbinlerce kilometre yol gitmektir.

12. SONUÇ

Enjeksiyon baskı hacmi ve dolun zamanı enjeksiyon işlemini doğrudan etkiler. Buradaki anahtar gösterge olan enjeksiyon akış hızı 2.000 bar değerinde sabit karşı basınç altında cm^3/s olarak ölçülür. Enjeksiyon akış hızı kataloglardaki değerler kaynak alınarak, uygulama ve ünite özelinde kolayca hesaplanabilir. Elektrikli enjeksiyon ünitelerinin nasıl tasarlandığına ilişkin herhangi bir katalog bulunmamaktadır. Yine de makinanın hangi uygulama sınıfı için üretildiği sorusu önemini korumaktadır. Makina sürekli aynı değerlerde mi çalışacak yoksa kısa süreli olarak tepe noktası değerlerine mi çıkacak? Çünkü ikisini aynı anda beklemek mantıklı bir seçim olmaz.

KAYNAKÇA

1. Kunststoffe International plastik teknolojisi dergisinin Ağustos 2021 sayısı. Duffner, Eberhard, "A question of Class".