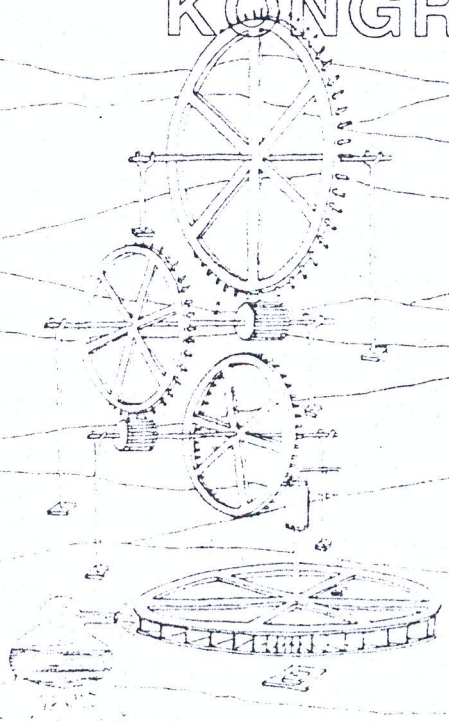
4.
ULUSAL
MAKİNA TASARIM
ve İMALAT
KONGRESİ



PROGRAM
ve
ÖZETLER

19 - 21 Eylül 1990

MATİMAREN - MATİM

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
ORTA DOĞU TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

ANKARA

KİLLERİN VAKUM PRESİNDE EKSTRÜZYONLA ŞEKİLLENDİRİLMESİNDE KUVVET ANALİZİ

İbrahim UZMAY, Durmuş ODABAŞ, Yüksek BAKIR, Şükrü SU
Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makina Bölümü 38090, KAYSERİ

ÖZET

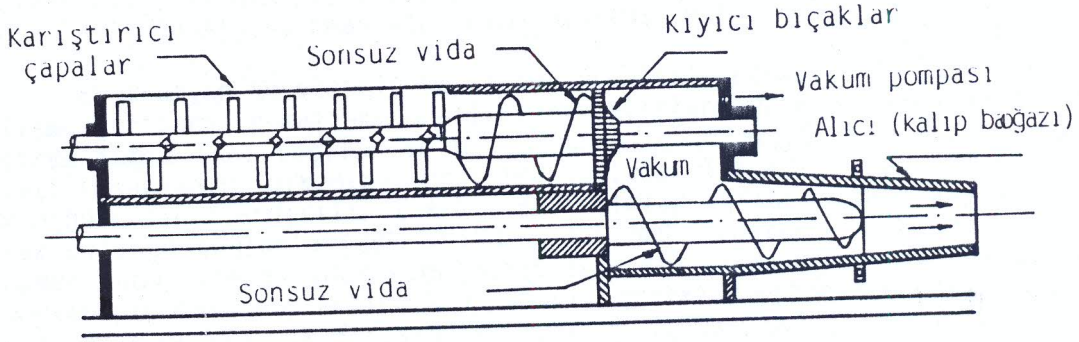
Bu çalışmada tuğla - kiremit üretiminde kullanılan vakum ekstrüzyon preslerinin sadece ekstrüzyon bölümünün kuvvet analizi yapılmıştır. Bu analizde maksimum ekstrüzyon oranı vermesi nedeniyle yığma tuğlanın standart boyutları esas alındı. Yığma tuğlaya göre dizayn edilen ve uygulamada karşılaşılan vakum preslerin gerçek kalıp boyutları kullanılarak ekstrüzyon kuvveti üç farklı benzeşim yaklaşımıyla incelendi. İlk yaklaşımda ekstrüzyon işlemi sadece çubuk ekstrüzyonuna benzetilerek yapılan çözümde ekstrüzyon basıncı, 12 kg/cm^2, ikinci yaklaşımda sadece boru ekstrüzyonuna benzetilerek 16.3 kg/cm^2 ve üçüncü yaklaşım ise tel çekme + boru ekstrüzyonu benzeşimiyle de 15.8 kg/cm^2 değerleri bulundu. Bu basınç değerleri işletme şartlarında elde edilen değerler ile mukayese edilerek birinci yaklaşımla elde edilen değerin çok düşük, diğer iki yaklaşımla sağlanan ekstrüzyon basıncı değerlerinin hemen hemen işletme değerleriyle aynı olduğu tesbit edildi ve son iki çözüm yaklaşımının vakum presler için en emniyetli ekstrüzyon basıncı değerlerini verdiği anlaşıldı. Ekstrüzyon basıncına etki eden en önemli faktörlerin kil malzemesinin cinsi, yoğunluğu ve akma gerilmesiyle, matris açısı olduğu tesbit edildi.

1. GİRİŞ

Bilindiği gibi seramik sanayiinde en eski, en çok kullanılan ve yeryüzünde en bol bulunan hammadde kildir. Kilin hammadde olarak kullanılmasının başlıca nedeni su ile kazandığı plastiklik özelliğidir. Su ile yoğurularak hazırlanan kil çamuru özelliğine göre şu usuller ile şekilendirilir [1]

1) Sulu Usul : Döküm, pres döküm
2) Yarıyaş Usul : Çömlekçi tornası, şablon torna, vakum pres
3) Kuru Usul : Toz presleme, izostatik presleme

Genellikle su oranı % 15 - 20 olan kil çamurları vakum ekstrüzyon presleri ile şekillendirilirler. Bilhassa basit ve uzun veya karışık kesitli uzun parçalar, borular, tuğlalar ve kiremitler bu usulle sürekli bir işlemle üretilirler. Şekil-1'de bir vakum presi görülmektedir. Kil çamuru üst makina grubundan geçerken kesici bıçaklar ile parçalanarak vakum odasına iletilir. Burada havası alınan çamur alt makina grubunda besleme ve baskı helezonlarıyla sıkıştırılarak kalıptan istenilen şekilde çıkarılır. Vakumlandırmanın gayesi kil çamuru içinde hava ile berabar bulunan gazların

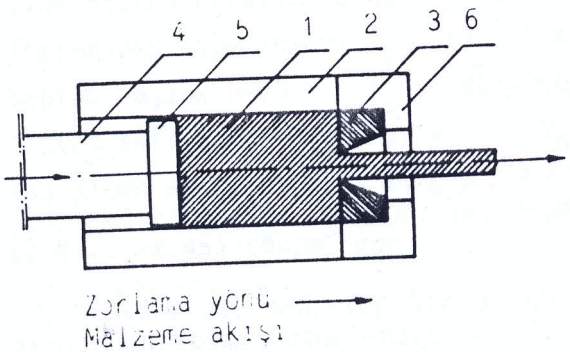


Şekil-1 : Vakum ekstrüzyon presinin şematik görünüşü [2] .

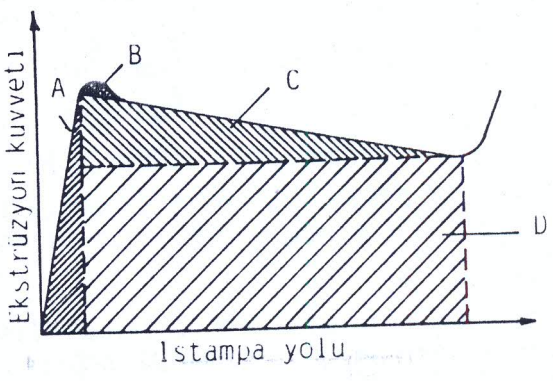
dışarı atılması ve mamülün kalitesinin arttırılmasıdır. Bu çalışmada bir vakum ekstrüzyon presinin ekstrüzyon bölümünün dizaynında esas olan kuvvet analizi için en uygun çözüm usulü tesbit edilmeye çalışılmıştır.

2. VAKUM PRESLERDE EKSTRÜZYON KUVVETİ ANALİZİ

Ekstrüzyon katı, yarı katı veya plastik bir malzeme blokunun yüksek basınç altında bir kalıptan geçirilerek üniform kesitli mamül elde etme işlemidir. Vakum presler vasıtasız ekstrüzyon prensibine göre çalışırlar (Şekil-2). Yalnız burada ıstampa yerine kalıba sürekli olarak gelen kil çamur bloku ve onu yürüten sonsuz vida (helezon) kullanılır. Ekstrüzyon es-



Şekil-2 : Vasıtasız ekstrüzyon usulü

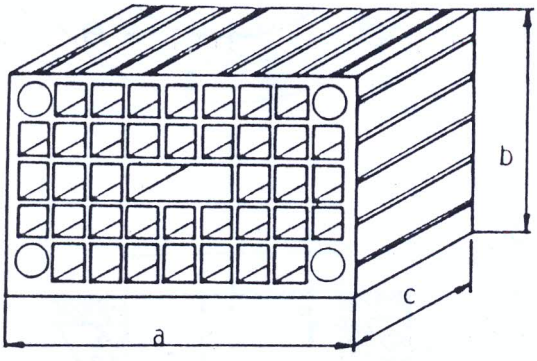


Şekil-3 : Ekstrüzyonda harcanan toplam iş ve bölümleri

nasında harcanan iş türleri Şekil-3'de görülmektedir. Vakum preslerde malzeme akışının başlaması için harcanan iş ve boşluk doldurma işi işlemin sürekli olması ve kil çamurunun akma gerilmesinin düşük olması nedeniyle ihmal edilebilir [1] . Ekstrüzyon işleminde malzemenin şekillendirme direnci ekstrüzyon kuvvetini meydana getirir. Bu kuvvete etki eden faktörler ; malzemenin cinsi ve özellikleri, ekstrüzyon oranı ve hızı, blok

boyutu, matris delik geometrisi ve açısı, yağlama usulü veya malzemenin plastikliği ve sıcaklığı olarak sayılabilir. Bu faktörlerin ayrı ayrı veya grup halinde ele alınmasıyla çözüm yapılmalıdır [3] .

Ekstrüzyon kuvvetinin tayininde öncelikle kapasite (adet/dakika), çalışma şartları ve malzeme özellikleri belirlenerek maksimum kuvveti gerektiren tuğla tipi seçilir ve bu tuğlanın boyutlarına göre ekstrüzyon kuvveti hesaplanır. Ülkemizde üretilen tuğlalar TSE 4790'a göre boyutları bakımından sınıflandırılır [4] . Bu tuğlalar içinde piyasa adı yığma olarak bilinen tuğlanın (290 x 190 x 135 mm^3) boşluk hacmi maksimum, safi çamur hacmi ise minimum olduğundan maksimum ekstrüzyon oranına sahiptir. Bu sebeple maksimum ekstrüzyon kuvveti gerektirmektedir. Bu çalışmada vakum pres dizaynında Şekil-4'de görülen yığma tuğlanın özellikleri esas alınmıştır.



Yığma tuğlanın boyutları :

Boyutlar(mm)	Pişmiş	Yaş
a	290	295 - 305
b	190	195 - 200
c	135	138 - 140

Şekil-4 : Yığma tuğlanın boyutları

Ekstrüzyon kuvvet analizinde ortalama değerler esas alınır. Yığma tuğla üretilen bazı bölgelerimizde yaptığımız gözlem ve deneyler neticesinde elde edilen ortalama değerler şunlardır :

Toplam yaş yığma hacmi $V_T = (80 - 84) \cdot 10^5 \ mm^3$

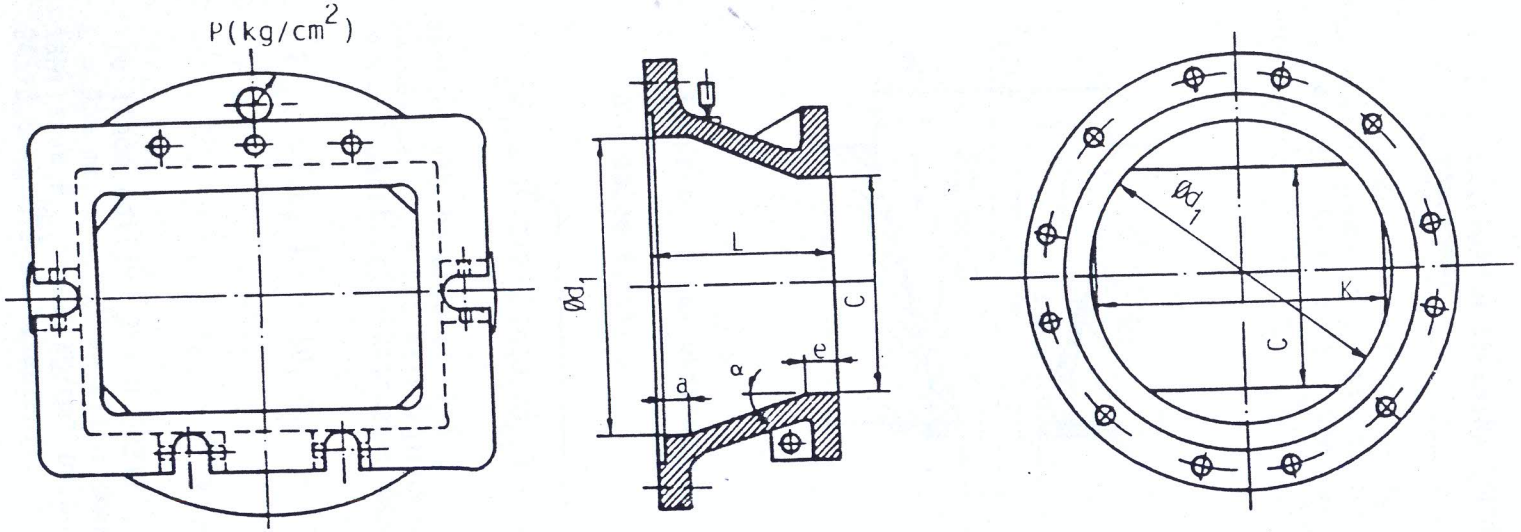
Toplam boşluk hacmi $V_B = (46 - 50) \cdot 10^5 \ mm^3$

Toplam safi çamur hacmi $V_Ç = V_T - V_B = (32 - 38) \cdot 10^5 \ mm^3$

Yaş yığma ağırlığı $G_y = 8000$ gr, kuru yığma ağırlığı $G_k = 6700$ gr, pişmiş yığma ağırlığı $G_p = 6000$gr, yaş yığma sıkıştırılmış yoğunluk $\gamma_y = G_y/V_Ç = (2.2 \ldots 2.45)$ ton/m^3'dür.

Yukarıdaki değerler bir ay süreyle belirli aralıklarda numunelerden alınan ortalama değerlerdir [1] . Yığma tuğlanın yaş haldeki plastik uzunluğu $L_p = 295 - 305$ mm, pişmiş haldeki kuru uzunluğu $L_d = 290$ mm olduğundan kilin çekmesi $S_d = (L_d - L_p)/L_p .100 = \%\ 5$, nem oranı (plastik suyu) ise $P_s = (G_y - G_k)/G_k .100 = \%\ 19.4$ dür.

Piyasada karşılaşılan bir vakum ekstrüzyon presinin alıcı resmi Şekil-5'de görülmektedir. Alıcının ölçüleri şöyledir : Alıcı giriş çapı $d_1 = 510$ mm, alıcı çıkış çapı (eşdeğer) $d_2 = 491$ mm, ortalama çap $d_o = 500$ mm alıcı çıkış genişliği $K = 505$ mm, alıcı çıkış yüksekliği $C = 375$ mm, alıcı boyu $L = 305$ mm, $a = 50$ mm, $e = 50$ mm ve matris açısı $\alpha = 18^0$ dir. Bu değerleri kullanarak ekstrüzyon kuvvetinin analizi için üç benzeşim



d_1 : Alıcı giriş çapı
d_2 : Alıcı çıkış çapı (eşdeğer)
d_o : Ortalama çap
K : Alıcı çıkış genişliği
C : Alıcı çıkış yüksekliği
L : Alıcı boyu

d_1 = 510 mm
d_2 = 491 mm
d_o = 500 mm
K = 505 mm
C = 375 mm
L = 305 mm
a = 50 mm
e = 50 mm

500/500 V_p alıcı (kalıp boğazı) ölçüleri

Şekil-5 : Vakum ekstruderlerde kullanılan kalıp boğazı (alıcı)

usulü uygulanmıştır.

2.1. EKSTRÜZYON İŞLEMİNİ ÇUBUK EKSTRÜZYONUNA BENZETEREK ÇÖZÜME YAKLAŞMAK

Bu çözümde yığma tuğlanın içi dolu bir çubuk olarak imal edildiği kabul edilir (Şekil-6). Imal edilen çubuğun boyu (yığma tuğlanın yaş boyu) c = 140 mm, hacmi (yaş yığma safi çamur hacmi) $V_ç = 35x10^5$ mm^3'dür. Buna göre çubuğun kesiti $A_ç = 35x10^5/140 = 25500$ mm^2 olur.

Çubuğun çapı yığma tuğlanın safi çamur eşdeğer çapına eşit olup,

$$d_{çe} = \sqrt{4A_ç/\pi} \qquad (1)$$

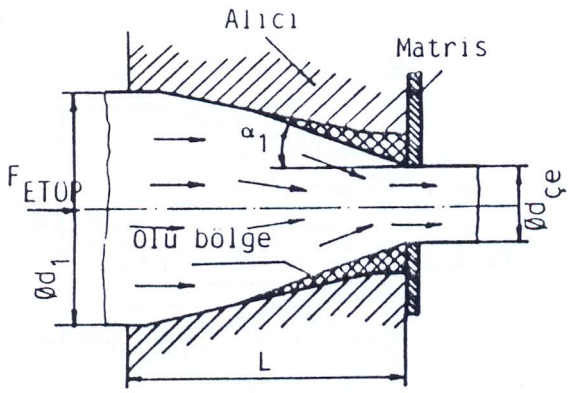
ile hesaplanarak 180 mm bulunur. Alıcı kesit alanı ,

$$A_1 = \pi\, d_1^2/4 \qquad (2)$$

ifadesinden $A_1 = 204280$ mm^2 olarak hesaplanır. Ekstrüzyon oranı ise

$$r = A_1/A_ç = d_1^2/d_{çe}^2 \qquad (3)$$

ifadesinden r = 8 değeri bulunur.



Şekil-6 : Çubuk ekstrüzyonu

Ölü bölge açısı,

$$\alpha_1 = \sqrt{3/2 \cdot [\, \ln(d_1/d_{çe}) - \mu_2\,(1 - d_{çe}/d_1)\,]} \qquad (4)$$

denklemiyle hesaplanır [3] . Kil çamuru ile metal arasındaki sürtünme katsayısı $\mu_2 = 0.5$ alındığında $\alpha_1 = 1{,}037$ rad (59.45^o) olarak hesaplanır. $\alpha < 75^o$ şartı için ekstrüzyon basıncı,

$$P_{eks} = 2\, k_f\, [\, B \ln (d_1/d_{çe}) + 1/\sqrt{3}\,(C' + \mu_2 \cdot (\mathrm{Cot}\alpha) \cdot \ln d_1/d_{çe}$$

$$+ \mu_2\,(L/d_1 - (1 - d_{çe}/d_1)\,\mathrm{Cot}\alpha\,)\,] \qquad (5)$$

ile ifade edilir. B = 1.00212 , C' = 0.21223 , d_1 = 510 mm, $d_{çe}$ = 180 mm, L = 308 mm, $\alpha = 18^o$ ve kilin akma gerilmesi $k_f = 3.5$ kg/cm^2 değerleri kullanılarak $P_{eks} = 12$ kg/cm^2 bulunur. Ekstrüzyon kuvveti ise $F = P_{eks} \cdot A_1 = 24513.6$ kg olarak hesaplanır.

2.2. EKSTRÜZYON İŞLEMİNİ BORU EKSTRÜZYONUNA BENZETEREK ÇÖZÜME YAKLAŞMAK

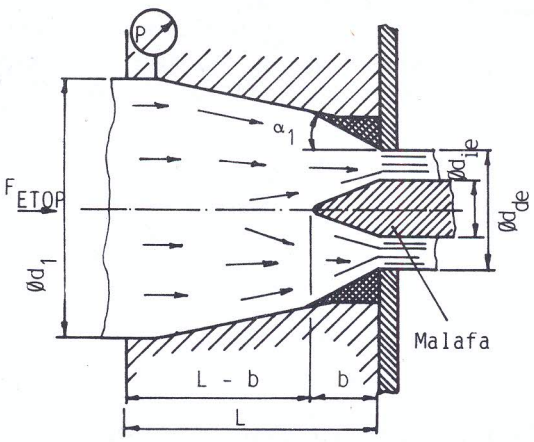
Bu yaklaşımda temel prensip, yığma tuğlanın deliklerini oluşturan malafaların bir merkezde toplanarak tek delikli bir boru meydana getirdiği kabulüne dayanır (Şekil-7). Yığma tuğlanın toplam boşluk alanından eşdeğer malafa çapı,

$$d_{ie} = \sqrt{4\ V_B/(\pi \cdot c)} \qquad (6)$$

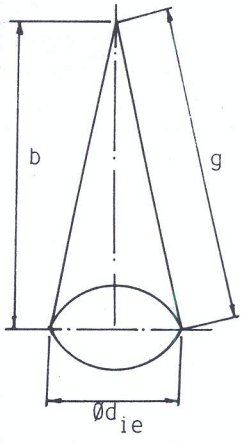
ifadesinden d_{ie} =208 mm olarak bulunur. Çamurun hacim ve kütle sabitliğinden eşdeğer çamur çapı,

$$d_{de} = \sqrt{4\ V_ç/(\pi\ c) + d_{ie}^2} \qquad (7)$$

ifadesinden d_{de} = 276 mm olur. Ölü bölge açısı ise (4) denklemi yardımıyla α_1 = 0.75 Rad (44^o) olarak hesaplanır.



Şekil- 7: Boru ekstrüzyonu



Şekil- 8: Konik malafa

Ölü bölge boyu ise,

$$b = (d_1 - d_{de}) / (2 \tan\alpha_1) \qquad (8)$$

ifadesinden b =121 mm bulunur. Blokun kesit alanı $f_1 = \pi d_1^2/4$, imal edilen borunun dolu kesidi ise $f_2 = \pi (d_{de}^2 - d_{ie}^2)/4$ olduğundan, kesit azalması,

$$F = f_1 - f_2 \qquad (9)$$

denkleminden F= 178433 mm^3 bulunur. Ölü bölgeyi sınırlayan koni yüzeyi

$Q_1 = (d_1^2 - d_{de}^2)\pi \sin\alpha_1/4$ ifadesiyle hesaplanır[5].Ve Q_1=100345 mm^2 olarak tespit edilir. Diğer yandan ölü bölge içindeki malafa yüzeyi $Q_2 = \pi d_{ic} \cdot g / 2$ den Q_2=51949 mm^2 olur (Sekil-8).Ortalama şekil değiştirme direnci, ise ,

$$k_d = k_f / (1 - (F + \mu_1 Q_1 + \mu_2 Q_2) / 2f_1) \qquad (10)$$

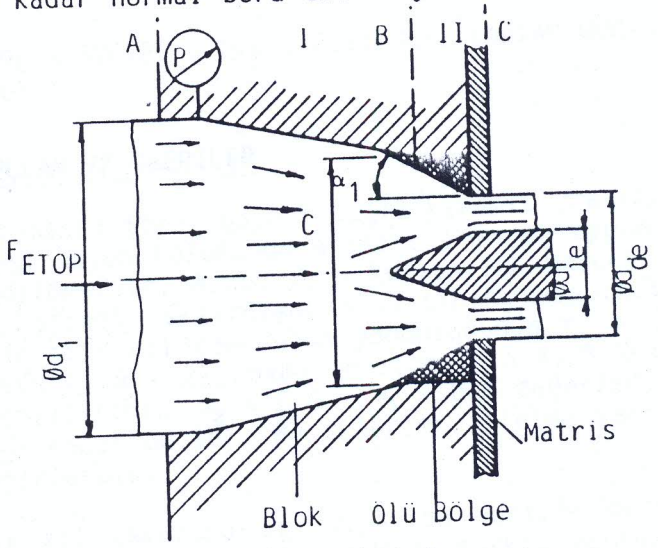
eşitliğinden hesaplanır [5]. Burada μ_1 ekstrüzyon faktörlerine ve kılın sıcaklığına bağlı bir katsayı olup 0.6 olarak alınır.Sürtünme katsayısı μ_2= 0.5 olarak seçildiğinde , şekil değiştirme direnci k_d= 9.9 kg/ cm^2 bulunur. Ekstrüzyon basıncı,

$$P_{eks} = 2 k_d - k_f \qquad (11)$$

denkleminden P_{eks} = 16.3 kg/cm^2 olarak hesaplanır.

2.3. EKSTRÜZYON İŞLEMİNİ TEL ÇEKME + BORU EKSTRÜZYONUNA BENZETEREK ÇÖZÜME YAKLAŞMAK

Bu yaklaşıma görede helezonların pompaladığı kil çamuru mamül olarak üretiminin Şekil-9da'görüldüğü gibi iki işlemde gerçekleştiği düşünülür. Birinci bölgede çamur A dan B ye kadar çekme işlemine, ikinci bölgede ise B den C ye kadar normal boru ekstrüzyonuna tabi tutulduğu düşünülür. Her



Şekil- 9 : Tel çekme + Boru ekstrüzyonu

iki işlemin ayrı ayrı incelenmesi gerekir ;

1) Birinci Bölgede A-B Arasındaki Çekme İşlemi : Kil çamurunun hacim kütle sabitliği esas alınarak aynı kesit alanı için eşdeğer çaplar hesaplanır. En genel hal için çekme kuvveti,

$$P_ç = A_{çe} \cdot k_f \cdot \varphi_H \cdot [\ 1 + \mu_2/\alpha_2 + 2\alpha_2/3\varphi_H\ ] \qquad (12)$$

şeklinde ifade edilir. Çıkış kesiti $A_{çe}$ = K.C = 189375 mm^2, şekil değişim oranı $\varphi_H = \ln A_1/A_{çe}$ = 0.075 , çekme açısı α_2, $\tan\alpha_2 = (d_1 - C)/2(L-(a+e))$ den $\alpha_2 = 17.9^o$ (0.31 radyan) olur. Bu değerler yerine konduğunda çekme kuvveti $P_ç$ = 2678 kg olarak hesaplanır.

2) Ikinci Bölgede B-C Arasında Boru Ekstrüzyonu : Çıkış kesiti eşdeğer çapı,

$$d_{çe} = \sqrt{4\,A_{çe}/\pi} \qquad (13)$$

eşitliğinden $d_{çe}$ = 491 mm bulunur. Ölü bölge açısı $\alpha_1 = 42^o$ olup, buna göre ölü bölge uzunluğu $b = (d_{çe} - d_{de})/2\tan\alpha_1$ den b = 119 mm olarak bulunur. Diğer yandan $f_1 = \pi d_{çe}/4$ = 189375 mm^2, $f_2 = \pi (d_{de} - d_{iç})/4$ = 25849 mm^2 olur. Bu değerlerden $Q_1 = (d_{çe} - d_{de})\,\pi/4\,\mathrm{Sin}\,\alpha_1$ = 86663 mm^2 olarak tayin edilir. Şekil-8'den ve

$$g = \sqrt{b^2 + (d_{ie}/2)^2} \qquad (14)$$

ifadesi [6] yardımıyla g = 158 mm hesaplanır. Buna göre $Q_2 = \pi d_{ie}.g/2$ = 51636 mm^2 dir. Böylece şekil değiştirme direnci k_d = 9.65 kg/cm^2 bulunur. Ekstrüzyon basıncı P_{eks} = 15,8 kg/cm^2, ekstrüzyon kuvveti ise $P = P_{eks}.A_{çe}$ = 29921 kg olarak hesaplanır. Toplam kuvvet ise,

$$P_t = P_ç + P \qquad (15)$$

ifadesinden P_t = 32678 kg olur. Alıcıdaki toplam ekstrüzyon basıncı $p = P_t/A_1$ = 16 kg/cm^2 olur.

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın temel gayesi tuğla-kiremit üretiminde kullanılan vakum preslerin ekstrüzyon bölümünün analizi için en uygun boyutlandırma usulünün tayin edilmesidir. Bunun için kullanılan mevcut preslerın gerçek boyutları esas alındı. Ekstrüzyon kuvvetinin hesabında kolaylık sağlanması için sıkıştırılmış kil çamurunun yoğunluğunun γ_y = 2.25 .. 2.45 ton/m^3, nem miktarının % 19 - 22, akma gerilmesinin k_f = 3.5 kg/cm^2, sürtünme ve sıkılık katsayılarının μ_2 = 0.5 , μ_1 = 0.6 değerleri ekstrüzyon süresince sabit kaldığı kabul edildi. Bu değerler işletme şartlarında tesbit edilen ortalama değerlerdir.

Plastik kil çamuruna ait yukarıda verilen değerleri vakum presinde yığma tuğla imalatı için kullanarak üç farklı yaklaşımla ekstrüzyon olayı incelendi ve sonuçlar işletme şartlarında belirlenen değerler ile mukayese edildi. Bu tip vakum preslerın farklı yörelerde tesbit edilen çalışma değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir. Ekstrüzyon olayını sadece çubuk ekstrüzyonuna benzeterek hesaplanan maksımum ekstrüzyon basıncı p_{max} = 12 kg/cm^2 değeri Tablo-1'deki alıcı basıncından oldukça düşüktür. Bu sebeple bu yaklaşım uygun değildir. Zira bu usule göre hesaplanan maksımum ekstrüzyon kuvvetine göre dizayn edilecek yeni bir vakum presi emniyetli olamaz ve istenen kapasiteyi sağlayamaz. Ekstrüzyon olayını boru ekstrüzyonu ve tel çekme + boru ekstruzyonu yaklaşımlarıyla incelenmesi en uygunudur. Bu yaklaşımlar ile bulunan maksimum ekstrüzyon basınçları 16 kg/cm^2 civarında

olup, Tablo-1'deki değerlerle hemen hemen aynıdır. Bu son iki yaklaşımda kalıp boğazının (C boyutunun) büyük etkisi olduğu görülür. C değerini ise imal edilecek tuğla yüksekliği ve istenen minimum ekstrüzyon gücü sınırlar. Bu nedenle yeni bir dizaynda her iki yaklaşımın birlikte kullanılması ve ortak çözümün aranması gerekir. Böylece kalıp dizaynında tel çekme + boru ekstrüzyon yaklaşımını sonucun kontrolü içinde, boru ekstrüzyon yaklaşımını birlikte uygulamak ekstrüzyon olayının daha gerçekçi incelenmesini sağlar. Ve sonuçta bulunan değerler gerçek değerlerin bir miktar üzerinde yani maksimum sınırlarda olacağından yeni bir makina için bir emniyet katsayısı göz önüne almış oluruz.

Yukarıda izah edilen çalışmalar tuğla - kiremit üretimi için imal edilen vakum preslerin araştırma ve geliştirmesine yol açacak alt yapıyı oluşturur. Bu çalışmalar esas alınarak bundan sonra bir vakum presin helezon dizaynı yapılıp istenen makina kapasitesi için makinanın çekmesi gereken optimum güç sarfiyatı belirlenebilir. Böylece daha verimli ve ekonomik yeni tip vakum pres dizaynı gerçekleştirmek mümkün olacaktır.

Tablo-1 : Vakum preslerin farklı yörelerdeki çalışma değerleri [1] .

Yöre	Tuğla Cinsi	Kapasite (Adet/d)	Tuğla ağırlığı (kg)		Nem (%)	Çekilen Akım (A)	Alıcı Basıncı (kg/cm^2)	Açıklama
			Yaş	Kuru				
Çorum	Yığma	130	7.8-8	6.7-7	17-19.4	230-240	13-15	Helezonlar boğazlar çalışmış olup, yüzeyler aşınmış
	13.5 luk	210	45-46	3.8-4	16-19	230-240	12-14	
	8.5 luk	320	3-3.2	2.7	18	230	14	
Avanos	Yığma	150	7	-	-	250	14-15	
Yozgat	Yığma	110-140	8	-	-	250-260	15-17	
Turgutlu	Yığma	90	5.4	-	-	180-210	12-14	Çamur yoğunluğu 1.7 dir.
Çorum	Yığma	98	7.5-8	6.3	19	280-290	14-15	Deneme çalışmaları için helezonlar yeni takılı olup yüzeyler parlak değil
Çorum	13.5 luk	148	4.1-4.2	3.6	16.6	320-340	16-19	Deneme çalışmaları için helezonlar yeni takıldı. Yüzeyler parlamamış. Sürtünme maks.

KAYNAKLAR

1. Bakır, Y., "Toprak Sanayiinde Tuğla - Kiremit Üretiminde Kullanılan Killerin Ekstrüzyonla Şekillendirilmesinde Vakum Presi Dizaynı", Yüksek Lisans Tezi, E.Ü.Müh.Fak. Mak. Böl., Ocak 1989, Kayseri

2. Lund, H.H., Bortz, S.A., and Reed, A.J., "Auger Design for Clay Extrüsion", The American Ceramic Sos. Bull. Vol. 41, September 1962.

3. Sönmez, H., "Ekstrüzyonda Malzeme Akışı ve Ekstrüzyon Kuvveti Üzerine İnceleme", Doktora Tezi, Yıldız Üniversitesi Müh.Fak., Ağustos 1980, İstanbul.

4. TSE, "Tuğla ve Kiremit Topraklarının Deney Metodu", TS 4790 Nisan 1986.

5. Bodur, H.O., "Metallere Plastik Verme Usulleri", İstanbul, 1975.

6. Gieck, K., "Mühendislik Formülleri", Tercüme Yaşar E. Kılıçlı, 1982, Ankara.