

Kontrollü Eğimli Alumina Seramik Boruların Nano ve Mikron Büyüklüğündeki Tozlarla Ekstrüzyonu

Extrusion of Alumina Ceramic Tubes with Controlled Bends Using Nano and Micron size Powders

Yard. Doç. Dr. Cengiz Kaya

Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Kimya ve Metalurji Fakültesi, İstanbul

Yard. Doç. Dr. Figen Kaya

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendislik Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Zonguldak

Prof. Dr. Stuart Blackburn

Birmingham Üniversitesi Malzeme Prosesleme Disiplinler Arası Araştırma Merkezi ve Kimya Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Birmingham

Assist. Prof. Cengiz Kaya

Yıldız Technical University Metallurgical and Materials Engineering Department, Faculty of Chemistry & Metallurgy, İstanbul

Assist. Prof. Figen Kaya

Zonguldak Karaelmas University Department of Materials Science and Engineering, Faculty of Engineering, Zonguldak,

Prof. Stuart Blackburn

University of Birmingham Interdisciplinary Research Centre (IRC) in Materials Processing & Department of Chemical Engineering, School of Engineering, Birmingham,

ÖZET

Değişken kontrollü dirseklili alumina seramik borular tek aşamalı bir ekstrüzyon prosesi ile üretildi. Dirseğin şekil değiştirebilir bir kalıpla sağlandığı kıvrımlı boruların kıvrımı üzerinde hamur reolojisinin, ekstrüzyon hızının ve kalıp geometrisinin etkisi, bilgisayar kontrollü bir ekstrüzyon tekniği kullanılarak incelendi. Kıvrımlı boruların kıvrımını etkileyen etkili faktörlerin sıvı faz bileşimi, seçilen kalıbın geometrisi ve ekstrüzyon hızı tarafından kontrol edilen seramik hamurların reolojik davranışı olduğu gösterildi. Ayrıca, dirseğin derecesinin hamurun artan viskozitesi ile arttığı ve daha katı hamurların daha yumuşak hamurlara nazaran yerçekimi kuvvetinden daha az etkilendiği görüldü.

1. GİRİŞ

Son zamanlarda, düz monolitik veya çok katmanlı seramik borular, işlevsel ve yapısal uygulamalar için ekstrüzyon yolu ile üretilmektedir [1-2]. Ekstrüzyon ayrıca, katı oksit yakıt hücrelerinde (SOFC) kullanılmak üzere tek tabakalı borusal elektrolitlerin yapılmasında da kullanılmıştır [3-4]. Ancak, sanayide kıvrık seramik borular genellikle bir merkezi mandreni olan bir kalıptan yüksek katı yüklemeli hamurların ekstrüzyonundan ve daha sonra bir çubuk şekilli şekillendirici etrafına çekilmiş sinterlenmemiş borunun sarılmasıyla oluşan iki aşamalı bir prosesleme tekniği kullanılarak şekillendirilmektedir. Bu zaman alıcı yöntem, genellikle ekonomik olmadığından ve sadece basit şekiller üretebildiğinden, pek kullanılmak istenilmemektedir. Mekanik sarma işlemi esnasında, eğilmiş borunun mekanik ve yapısal özelliklerini düşüren yüksek kalıntı gerilimleri ortaya çıkabilir. Borunun kesitsel homojenliğinin korunması ile ilgili sorunlar vardır. Dolayısıyla, bunun önlenmesi için borunun içine bir tel veya yay yerleştirilebilir. Ancak, özellikle kuruma sonrasında borudan 'şekillendirici' nin çıkartılmasında zorluklarla karşılaşılabilir. Dolayısıyla, değişik kontrollü dirseklili seramik boruların yapılması için sanayide bir yeni ve tek aşamalı ekstrüzyon prosesine ihtiyaç vardır [5, 6]. Çalışmamızda, boruların kavislenmesini ve şeklini doğrudan etkileyen hamur reolojisi üzerinde bağlayıcıların etkisinin araştırılmasına çalışılmıştır [7, 8].

ABSTRACT

Alumina ceramic tubes with varyingly controlled bends were produced using a single-step extrusion process. The influence of paste rheology, extrusion velocity and die geometry on the curvature of the bending tubes, where the bend was induced by a deformable die, was examined using a computer-controlled extrusion technique. The dominant factors that affect the curvature of the bending tubes were shown to be the rheological behaviour of ceramic pastes, which is controlled by the liquid phase composition, the die geometry chosen as well as the speed of extrusion. It is also shown that the degree of bend increases with increasing viscosity of the paste and stiffer pastes were found to be less affected by the force of gravity compared to the softer pastes.

1. INTRODUCTION

Recently, straight monolithic or multilayer ceramic tubes have been produced by extrusion for functional and structural applications [1-2]. Extrusion has also been used for making single layer of tubular electrolytes for use in solid oxide fuel cells (SOFC) [3-4]. However, in industry, bent ceramic tubes are usually formed using a two-step processing technique comprising the extrusion of high solids-loading pastes from a die with a central mandrel followed by wrapping the extruded green tube around a rod shaped former. This time consuming route is not always desirable as it is often not cost-effective and can only produce simple shapes. During mechanical wrapping, high residual stresses can develop that lower the mechanical and structural properties of the bent tube. There are issues with the retention of the tube cross-sectional uniformity and so a wire or spring may be placed down the tube to prevent this. However, difficulties then occur in releasing the 'shaper' from the tube, particularly after drying. Therefore, a novel and single-step extrusion process is required by industry to make ceramic tubes with varyingly controlled bends [5, 6]. An attempt has been made in the present work to investigate the influence of the binders on the paste rheology that directly affects the curvature and the shape of the tubes [7, 8].

Seramik boruların basit veya karmaşık şekillerinin, örneğin "C" veya "S" şekillerinin ve 3-D spiral yay şekillerinin kalıp alanı eksenin etrafında 120° uzaklıkla konulmuş üç bilgisayar kontrollü bağımsız pim sayesinde elde edilebileceği gösterilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

(1) Kalıp tasarımı

Geliştirilen kalıbın fotoğrafları Şekil 1'de gösterilmiştir. İçeri ve dışarı oynatılabilen pimler sayesinde şekli değişen boru şekillendirici kalıbın çıkış ucunun dış cidarını bir elastik boru oluşturur [9]. Ayarlanabilir pimler, bir bilgisayar programı ile çalışan bir hareket arayüzü ile kontrol altında tutulan stepper motorları ile çalıştırılmaktadır. Geliştirilen bilgisayar programı, ayrıca ekstrüzyon süresinin, yani pimlerin herhangi bir yöndeki hareketleri arasındaki sürenin istenilen her kalıp yapısı için kontrol edilebilmesine izin vermektedir. Bu ayar, boruda eğilme yaratarak akış için geometrik yapıyı değiştirmektedir. Dolayısıyla, 120° uzaklıktaki üç ayarlanabilir pim ile boruyu her istenilen yöne eğmek mümkün olacaktır. Bu deneylerde kalıp 2 mm'lik cidar kalınlığı ve 8.0 mm dış çaplı ürünler oluşturmuştur.

It is shown that simple or complicated forms of ceramic tubes, for example "C" or "S" shapes as well as 3-D helical spring shapes are achievable by the introduction of three computer-controlled independent pins set 120° apart around the axis in the die land.

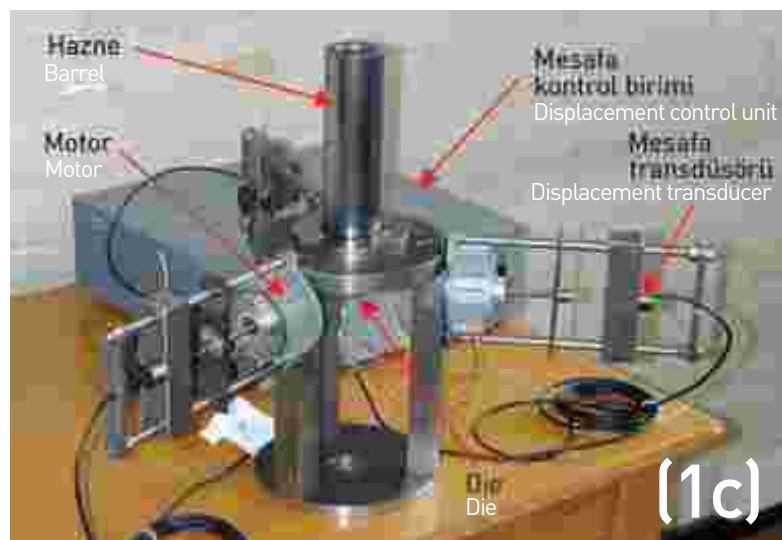
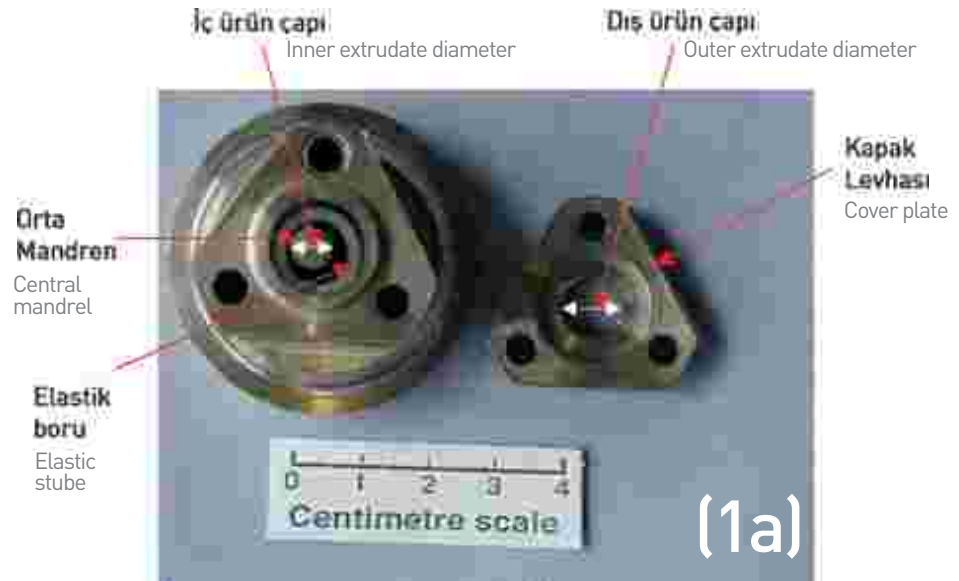
2. EXPERIMENTAL WORK

(1) Die design

The photo images of the developed die are shown in Fig. 1. An elastic tube forms the outer wall of the exit end of the tube-forming die, deformed by pins that can be moved in and out [9]. The adjustable pins are driven by stepper motors, which are controlled through a motion interface driven by a computer program. The computer program developed also allows the extrusion time to be controlled for any desired die configuration, i.e., the time between the movement of the pins in any direction. This adjustment alters the geometric configuration for flow, inducing bending in the tube. Thus, with the three adjustable pins set 120° apart, it should be possible to bend the tube in any desired direction. In these experiments the die produces extrudates with a wall thickness of 2 mm and external diameter of 8.0 mm.

Şekil 1: (a) Monte edilen kalıp parçasını ve elastik borunun konumunu, (b) sürücü çubuklar yerlerinde iken tam olarak monte edilmiş kalıbı, (c) hazne, stepper motorları ve LDT motorlarının yerini ve standı gösteren monte edilmiş cihazı gösteren fotoğraflar [9].

Figure 1: Photos showing (a) the die part assembled and location of the elastic tube, (b) the die fully assembled with driving rods in place, (c) the assembled instrument showing the barrel, stepper motors and the location of the motors LDTs and stand [9].



(2) Malzeme ve Hamur oluşturma

hamurların hepsi alumina tozu esaslı olup; saf su ile yapılan 5 değişik bağlayıcı (agar, amonyum aljinat ve üç değişik selüloz bağlayıcı) eriyiği kullanılarak formüle edilmiştir. Boruların kavislenmesi üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla, Methocel K15M, asetik asit ve saf su

ile karıştırılmış ince Böhmit tozu içeren çok sert bir hamur da hazırlanmıştır. Hazırlanan hamurlar hakkında ayrıntılı bilgi, Tablo I'de verilmiştir. Seramiğin yüzeyinin ıslatılması ve kesme meydana getirmek üzere, tüm hamurlar bir su soğutmalı Werner and Pfeleiderer LUK 3 III-2 VAK çift yuvalı karıştırıcı kullanılarak hazırlanmıştır. Her

hamurun reolojik akış davranışı bir kapiler reometre kullanılarak belirlenmiştir [9]. Boruların eğilme derecesi (k) aşağıdaki formül ile ölçülmüştür:

$$k = 8y / L^2, \quad (1)$$

Formülde y ve L ürünün deformasyonunu ve uzunluğunu göstermektedir.

Toz Powder	Bağlayıcı Binder	Katkı Maddeleri Additives	Viskozite (Pa.s) Viscosity	Metindeki Kısaltması Short code in the text
Alumina RAC 45B	Methocel HPM50DS***,B1	Gliserol Su	639	P1
	Methocel HPM50DS**,B2		906	P2
	Agar, B3		910	P3
	Alginate Collatex A/RN,B4		1818	P4
	Methocel K15M*, B5		2187	P5
Boehmite Pural SB1	Methocel K15M*	Asetik asit Su	7252	P6

* Molekül Ağırlığı (MW) :120,000, / **MW:100,000 / ***MW: 22,000

Tablo 1: Hamur formülasyonunda kullanılan tozlar ve bağlayıcılar ve 62 S-1 sabit kesme hızında hazırlanmış hamurların viskozite değerleri.
Table 1: Powders and binders used for paste formulation and viscosity values of pastes prepared at a constant shear rate of 62 s-1.

(2) Materials and paste formulation

The pastes were all based on an alumina powder and formulated using 5 different binder solutions made with distilled water (agar, ammonium alginate and three different cellulose binders). A very stiff paste that contains a fine Boehmite powder mixed with

Methocel K15M, acetic acid and distilled water was also prepared in order to investigate its effect on the curvature of the tubes. The detail information about the pastes prepared is given in Table I. All the pastes were produced using a water cooled Werner and Pfeleiderer LUK 3 III-2 VAK double lobe mixer to wet the surface of the ceramic and introduce shear. The rheological flow

behaviour of each paste was characterized using a capillary rheometer [9]. The degree of curvature of the tubes (k) was measured using the following equation:

$$k = 8y / L^2, \quad (1)$$

where y and L are the deformation and the length of the extrudate.

3. SONUÇLAR ve İRDELEME**(1) Hamur Reolojisi**

62 S-1'lik sabit kesme hızında sabit bağlayıcılar kullanılarak hazırlanan hamurların görünür viskoziteleri Tablo I'de verilmiştir. B5 bağlayıcısı ile hazırlanan Böhmit hamuru, en yüksek viskoziteyi (7252 Pa.s) veya en katı davranışı gösterirken, en düşük viskozite (639 Pa.s), alumina tozu ile karıştırılan B1 bağlayıcısından sağlanmıştır. Tablo II'de verilen bağlayıcı parametre verileri, alüminanın hamur reolojisinin bağlayıcı eriyik reolojisini yansıttığını, yani en yüksek bağlayıcı viskozitesinin en sert hamuru sağladığını göstermektedir. Tablo II, ayrıca, hamurun viskozitesi arttıkça, b'nin da (kalıp akış hızı katsayısı) arttığını da

hamur bileşimi Paste composition	k (mm-1)	β (kalıp akış hız katsayısı) (the die land velocity coefficient)
P1	0.027	0.20
P2	0.032	0.30
P3	0.04	1.01
P4	0.08	1.25
P5	0.31	1.96
P6	1.44	4.18

Tablo 2: Hamur bileşiminin 30 mm/dak'lık bir yüklem (ekstrüzyon) hızı kullanıldığında kavis derecesi (k) üzerindeki etkisi ve her hamurun kalıp akış hız katsayısı.

Table 2: The influence of paste composition on the degree of curvature (k) using a ram speed of 30 mm/min and correspondent die land velocity coefficients of each paste.

göstermektedir. Boehmite hamuru, nano büyüklüğündeki partikül doğası

ve jel yapısı sayesinde çok yüksek bir viskozite sergilemektedir.

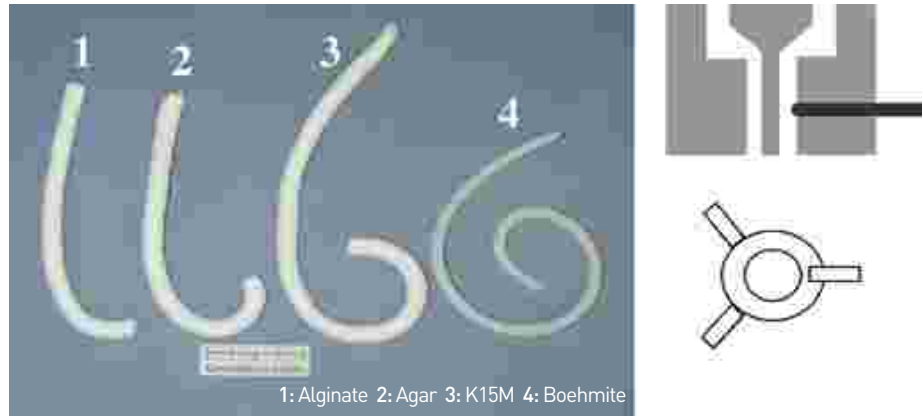
(2) Boruların kavislenmesini etkileyen faktörler

Ayarlar, her ekseninde derece ayarları olarak belirtilmiştir, örneğin X ekseninde 45° , Y ekseninde 0° ve Z ekseninde 0° 'dir. Bilgisayarlı tahrikin sağladığı hassas kontrol olanağı prosesin kritik değerlendirilmesine izin vermektedir. Şekil 2, reolojinin ve kalıp geometrisinin 30 mm/dak.'lık bir sabit ekstrüzyon hızı kullanıldığında eğilme kavisi üzerindeki etkisini göstermektedir. Şekil 2'de ve 3'de gösterildiği gibi, Y yönündeki çubuk bilgisayar tarafından 90° (0.3 mm) ileriye hareket ettirilmiş, diğer iki çubuk ise 20 saniye süre ile 30 mm/dak.'lık bir ekstrüzyon hızı altında sabit tutulmuştur. 20 saniye sonra Y pimi Şekil 2'de gösterilen düz boruların ekstrüzyonuna yol açacak şekilde başlangıçtaki sıfır konumuna getirilmiştir. Şekil 4'teki fotoğraftan sıvı faz içeriğinin kontrolündeki hamur reolojisinin aynı ekstrüzyon parametreleri altındaki boruların kavisliğini etkilediği ve en düşük viskoziteli hamurun (agar bağlayıcı alumina) en küçük ilk kavisi verdiği, en sert hamurun ise (K15 M bağlayıcı Boehmite) en çok eğildiği açıkça görülmektedir. Ayrıca, Şekil 2'den Boehmite borunun kuruma büzülmesinin kullanılan Boehmite tozlarının nano yapısı dolayısıyla alumina borulardan çok daha yüksek olduğu da görülmektedir.

3. RESULTS AND DISCUSSION

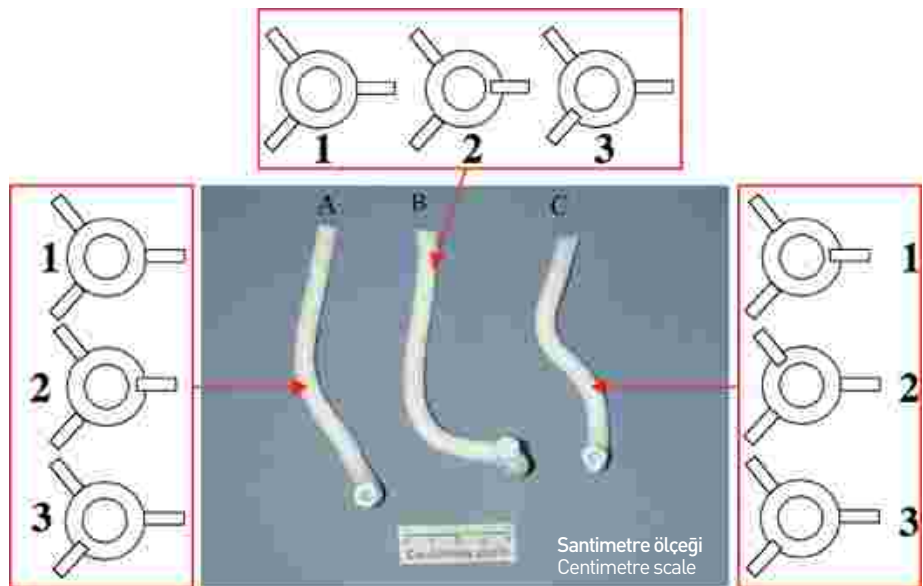
(1) Paste rheology

The apparent viscosities of the pastes prepared using different binders at a constant shear rate of 62 s^{-1} are shown in Table I. Boehmite paste prepared with binder B5 shows the highest viscosity (7252 Pa.s) or the stiffest behaviour whilst the lowest viscosity (639 Pa.s) is provided by the binder B1 mixed with alumina powder. The paste parameter data given in Table II indicate that the paste rheology of alumina reflects the binder solution rheology, i.e. the highest binder viscosity gives the stiffest paste. Table II also shows that as the viscosity of the paste increases b (the die land velocity coefficient) also increases. Boehmite paste exhibits a very high viscosity due to its nano-size particle nature and gel structure.



Şekil 2: Hamur reolojisinin sabit bir ekstrüzyon hızı ve kalıp geometrisi altında eğilmiş boruların kavisi üzerindeki etkisini gösteren fotoğraflar. Daha yüksek viskoziteli hamurların (örneğin Boehmite ve K15M bağlayıcı alumina) daha iyi spiral şekiller meydana getirdiğine dikkatinizi çekeriz.

Figure 2: Photos showing the effect of the paste rheology on the curvature of the bent tubes for a constant extrusion speed and die geometry. Note that pastes with higher viscosities (for example boehmite and alumina with K15M binder) tend to produce better shapes with spiral shapes.



Şekil 3: Kalıp geometrisinin 30 mm/dak.'lık bir sabit ekstrüzyon hızı altında alginat bağlayıcı ile karıştırılmış alumina hamurda, kontrollü şekillere sahip eğilmiş boruların kavisi üzerindeki etkisini gösteren fotoğraflar. Boruların kavis derecesinin, pimlerin teker teker dönüşleri değiştirilerek, kontrol altında tutulabildiğine dikkatinizi çekeriz.

Figure 3: Photos showing the effect of die geometry on the curvature of the bent tubes with controlled shapes for alumina paste mixed with alginate binder using a constant extrusion speed of 30 mm/min. Note that the degree of curvature of the tubes can be changed and controlled by altering the rotation of the individual pins.



Şekil 4: Yer çekimini karşılamak için pim girişi artırılarak X, Y ve Z'nin sıralı uygulanmasını gösteren K15M bağlayıcı ile karıştırılmış alumina hamurundan yapılmış spiral yay şekline eğilmiş borunun fotoğrafı

Figure 4: Photo of bent tube with near spring helical shape made from alumina paste mixed with K15M binder showing that sequential application of X, Y, and Z with increasing pin insertion to compensate for gravity.

Bilgisayar kontrollü çubukları teker teker hareket ettirerek, daha kompleks şekilli eğik borular yapmanın başarılı sonuçları 30 mm/dak.'lık sabit bir ekstrüzyon hızı kullanarak aljinat bağlayıcı ile karıştırılmış alumina hamur için Şekil 3'de gösterilmiştir. Birinci boru, A, Z ve Y çubukları sabit tutulurken, 10 saniye süre ile 45°'lik bir dönüş ile (ileriye doğru 0.15 mm) yerleştirilen X çubuğu ile üretilmiştir. 10 saniye sonra, X çubuğu başlangıçtaki sıfır noktasına getirilmiş ve aynı zamanda X ve Z, ilk sıfır konumlarında sabit tutulurken, Y çubuğu 45°'lik bir dönüş ile hareket ettirilmiştir. (ileriye doğru 0.15 mm). 10 saniye sonra, Y çubuğu da ilk sıfır konumuna getirilmiş ve ekstrüzyon Şekil 3'de gösterilen düz boruları üretmiştir. Boruların kavis derecesi, aynı zamanda, Şekil 3'te gösterildiği gibi, pimlerin teker teker dönüşlerinin değiştirilmesi ile değiştirilip, kontrol altında tutulabilir. Örneğin, Şekil 3'de B işaretli fotoğrafta Y çubuğu 90° hareket ettirilmiştir. (ileriye doğru 0.3 mm) ve o yönde eğim açısındaki fark açıkça görülmektedir. Pimin daha fazla sokulması ile daha fazla eğim sağlanmaktadır. Z-Y-X-Z motor sıralanması ile, Şekil 4'te gösterilen spiral geometriler elde edilmiştir. Şekil 5'de gösterildiği gibi, kalıbın geometrik akış durumu değiştirilerek, C veya S şekilli borular da çekilmiştir. Sadece tek bir pimi hareket ettirerek, değişik eğim derecelerinde C şekilleri elde edilirken (Bkz. Şekil 5a), iki pimi gereken yönlere hareket ettirerek S şekilli borular yapılmıştır (Bkz. Şekil 5b).

(2) Factors affecting the curvature of the tubes

The settings are reported as the degree setting on each axis, for example 45,0,0 is 45° on X, 0° on Y and 0° on Z. The sensitive control that the computerized drive affords allows critical assessment of the process. Fig. 2 shows the effect of the rheology and die geometry on the curvature of the bending tubes using a constant ram speed of 30 mm/min. As shown in Fig. 2, the rod in Y direction was moved forward by 90o (0.3 mm) by the computer whilst the other two rods were kept fixed under an extrusion speed of 30 mm/min for 20 seconds. After 20 seconds, pin Y was moved to its starting zero position leading to the extrusion of straight tubes as shown in Fig.2. It is clearly seen from the photograph in Fig. 4 that paste rheology controlled by the liquid phase content affects the curvature of the tubes under the same extrusion parameters and the paste with the lowest viscosity (alumina with agar binder) provides the smallest initial curvature while the stiffest paste (boehmite with K15 M binder) bends the most. It is also seen from the Fig.2 that the drying shrinkage of boehmite tube is much higher than the alumina tubes because of the nano-structure nature of boehmite powders used.

The successful results of making bent tubes with more complex shape by moving the computer-controlled rods individually is shown in Fig. 3 for alumina paste mixed with alginate binder using a constant extrusion speed of 30 mm/min. The first tube, A, is produced with rod X set with a

rotation of 45o (0.15 mm forward) for 10 seconds while the Z and Y rods were kept constant. After 10 seconds, rod X was moved to its starting zero point and at the same rod Y was moved in with a rotation of 45o (0.15 mm forward) while X and Z were kept constant at their original zero position. After 10 seconds, rod Y was also moved to its original zero position and extrusion produces straight tubes as shown in Fig.3. The degree of curvature of the tubes can also be changed and controlled by altering the rotation of the individual pins as shown in Fig. 3. For example, rod Y was moved by 90o (0.3 mm forward) in photo marked B in Fig.3 and the difference in bending angle in this direction is clearly visible. Greater bend is induced by greater insertion of the pin. By sequencing the motors Z-Y-X-Z, spiral geometries are produced as shown in Fig.4. Tubes with C or S shapes were also extruded by altering the geometrical flow condition of the die as shown in Fig.5. C shapes with different degree of bent were produced by moving only one pin (see Fig.5a) whilst S shape tubes were made by moving two pins in required directions (see Fig.5b).

The effect of extrusion speed on the curvature of the bent tubes is shown in Fig. 6. The tube shown in Fig.6a was extruded using a speed of 30 mm/min whilst extrusion speeds of 20, 15 and 10 mm/min make the tubes with different bending curves shown in Fig.6b, c and d, respectively indicating that the curvature of the tubes becoming greater as the extrusion speed was decreased. The influence of paste composition on the degree of curvature (k) using a ram speed of 30 mm/min. is also shown in Tale II indicating that k values increase with increasing viscosity of the paste.



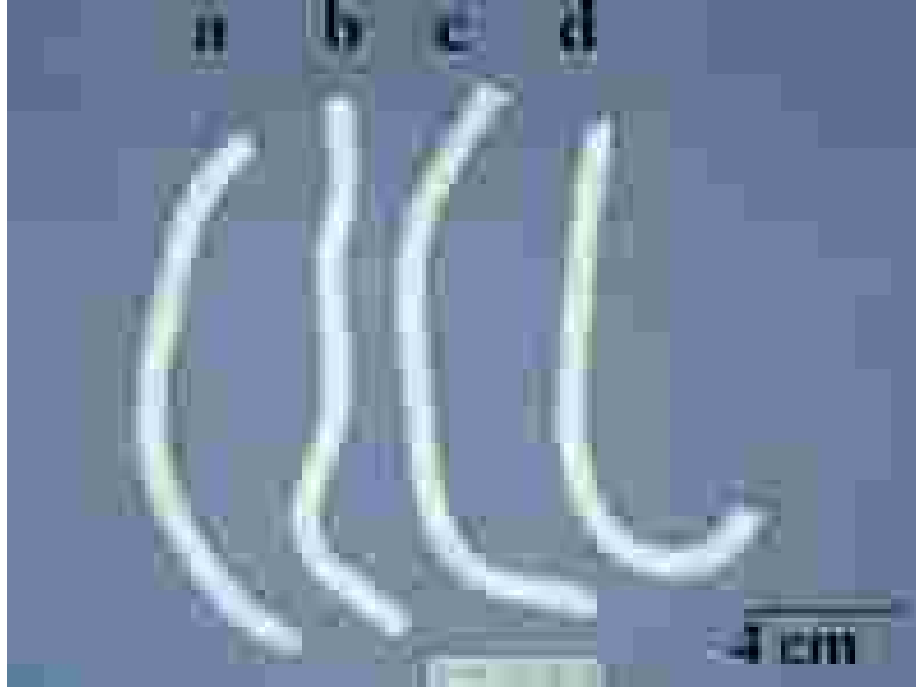
Şekil 5: (a) S şekilli ve (b) C şekilli seramik boru yapılabiliğini gösteren fotoğraflar

Figure 5: Photos showing the possibility of making ceramic tubes with: a) S shapes and b) C shapes.

Ekstrüzyon hızının eğilmiş boruların kavisi üzerindeki etkisi Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekil 6a'da gösterilen boru, 30 mm/dak. hızı kullanılarak çekilmiş; 20, 15 ve 10 mm/dak. ekstrüzyon hızları ise, boruların kavislerinin ekstrüzyon hızı azaldıkça daha arttığını gösterecek şekilde, sırasıyla Şekil 6b, c ve d'de gösterilen değişik kavisli boruları ortaya çıkarmıştır. 30 mm/dak.'lık bir ekstrüzyon hızı kullanarak, hamur yapısının kavis derecesi (k) üzerindeki etkisi, k değerlerinin hamurun artan viskozitesi ile arttığına işaret edecek şekilde, Tablo 2'de de gösterilmiştir.

4. SONUÇLAR

Sıkı kontrol altındaki dirseklere sahip alumina seramik boruların yapılması için yeni bir bilgisayar kontrollü ekstrüzyon tekniği kullanılmış ve dirseğin deforme olabilen bir kalıp vasıtasıyla oluşturulduğu durumlarda eğimli boruların kavisi üzerinde hamur reolojisinin ekstrüzyon hızının ve kalıp geometrisinin etkisi incelenmiştir. Ayrıca, kalıp akışında eksen etrafında 120° uzaklıkta yerleştirilmiş motor tahrikli pimler vasıtasıyla basit veya karmaşık seramik boruların (örneğin C, S veya spiral yay şekilleri) üretilebildiği gösterilmiştir. İstenilen şekiller, daha sonra hamurun ekstrüzyonu esnasında geometrik akış şartlarının değiştirilmesi ile elde edilebilir. Eğimli boruların kavislerinin sıvı faz bileşimi, seçilen kalıp geometrisi ve ayrıca ekstrüzyon hızı ile kontrol edilen viskozite gibi seramik hamurların reolojik davranışına bağlı olduğu saptanmıştır. Dirseğin derecesinin, hamurun artan viskozitesi ile arttığı da gösterilmiştir.



Şekil 6: Eğilmiş boruların kavisi üzerinde ekstrüzyon hızının etkisini gösteren fotoğraflar

Figure 6: Photos showing the effect of extrusion speed on the curvature of the bent tubes.

4. CONCLUSIONS

A new computer-controlled extrusion technique was introduced for making alumina ceramic tubes with tightly controlled bends and the influence of paste rheology, extrusion velocity and die geometry on the curvature of the bending tubes, where the bend was induced by a deformable die, was examined. It is shown that simple or complicated ceramic tubes (for example C, S or helical spring shapes) can be produced through stepper motor-driven pins set 120° apart around the axis in the die land. Required shapes can then be produced by altering the geometrical flow conditions during the paste extrusion. It is found that the curvature of the bending tubes is controlled by the rheological behaviour of ceramic pastes, such as viscosity, which is controlled by the liquid phase composition, the die geometry chosen as well as the speed of extrusion. It is also shown that the degree of bend increases with increasing viscosity of the paste.

Kaynakça / Bibliography

- 1- Z. Liang and S. Blackburn, "Co-extrusion of Multilayer Tubes"; p.109-115 in British Ceramic Transactions, Vol. 56, Better Ceramics Through Processing. Editör: J. Biner and J. Yeomans. Institute of Materials, London, UK., 1998.
- 2- Z. Liang and S. Blackburn, "Design and characterisation of a co-extruder to produce trilayer ceramic tubes semi-continuously", J. Eur. Ceram. Soc., 21 [7] 883-892 (2002).
- 3- K. Kendal and M. Prica, "Integrated SOFC Tubular System for Small Scale Cogeneration"; p.163-168 in Proceedings of 1st European Solid Oxide Fuel Cell Forum. Editör: U. Bossel, Ucerne, Switzerland., 1994.
- 4- Y. Du, N. M. Sammes and G. A. Tompsett, "Optimisation Parameters for the Extrusion of Thin YSZ Tubes for SOFC Electrolytes," J. Euro. Ceram. Soc., 20, 959-965 (2000).
- 5- C. Kaya, R. J. Huzzard and S. Blackburn, "Influence of Paste Formulation on Tubes with Controlled Bends"; p.309-314 in the Proceedings of the Second International Conference on Shaping of Advanced Ceramics, Shaping II, Gent, Belgium. Editör: J. Luyten and J-P. Eraw. Flemish Institute for Technological Research (Vito) Ekim 2002.
- 6- X. Huang and S. Blackburn, "Extrusion of Ceramic Tubes with Controlled Bends", Key Engineering Materials., 206, 433-436 (2002).
- 7- R. J. Huzzard and S. Blackburn, "Slip Flow in Concentrated Alumina Suspensions", Powder Technology., 97, 118-123 (1998).
- 8- H. Mills and S. Blackburn, "Rheological Behaviour of γ -Alumina/Boehmite Pastes", Trans. IchemE., 80, 464-470 (2002).
- 9- C. Kaya, and S. Blackburn, "Extrusion of Ceramic Tubes with Complex Structures of Non-uniform Curvatures Made from Nano-powders", J. Euro. Ceram. Soc., 24, 3663-3670 (2004).
- 10- C. Kaya, E. G. Butler and M. H. Lewis, "Co-extrusion of Al_2O_3/ZrO_2 Bi-phase High Temperature Ceramics with Fine Scale Aligned Microstructures", J. Euro. Ceram. Soc., 23, 935-942 (2003).