

ANIZOTROPIE SMRŠTĚNÍ SUŠENÍM A PÁLENÍM

PAVEL VYCUIDLÍK, IRENA ŽÁKOVÁ

Výzkumný ústav jemné keramiky, 360 08 Karlovy Vary-Březová

Došlo 13. 6. 1983

Důsledkem přednostní orientace jílových částic při tvarování plastického těsta a lití ze suspenze je anizotropie smrštění sušením a pálením. S rostoucí deformací roste smrštění ve směru kolmo ke vznikající orientaci částic. Anizotropie smrštění roste s plastičností těsta, z něhož jsou připraveny zkušební vzorky. U těsta s polovinou plastické složky jsou malé rozdíly ve smrštění sušením, ale při pálení je smrštění kolmo k orientaci částic až trojnásobkem hodnoty v rovnoběžném směru. U plastických těst anizotropie smrštění sušením může být i větší než anizotropie smrštění pálením. V provozních vzorcích je výrazná anizotropie smrštění pálením.

ÚVOD

Fyzikální vlastnosti krystalických materiálů jsou v mnoha případech anizotropní — jejich hodnoty v jednotlivých krystalových rovinách se mohou lišit i řádově. Pro monokrystalické materiály je anizotropie spíše častější případ než izotropie, která se vyskytuje u systémů polydisperzních a amorfních. Keramické materiály jsou většinou polydisperzní systémy, za syrova tvořené velkým podílem anizometrických částic jílových minerálů.

Dojde-li při zpracování těchto materiálů k vytvoření jednosměrné, popř. převládající orientace částic v jednom směru, potom i fyzikální vlastnosti vytvořeného tělesa mohou být anizotropní. Procesem, který nejčastěji způsobuje vytvoření přednostní orientace částic, je tvarování těles z plastického těsta nebo litím ze suspenze.

Při plastické nebo viskózní deformaci se jílové částice progresivním skluzem orientují svými krystalovými plochami (001) rovnoběžně se směrem pohybu (1). Při dostatečně velké deformaci se v plastickém těstě vytvoří jednosměrná orientace, pozorovatelná i pouhým okem na lomových plochách [2, 3]. Jednosměrná orientace jílových částic, obalených vodní lyosférou, má za následek orientované smršťování při sušení — menší ve směru rovnoběžně s orientací částic, větší v kolmém směru. Charakterizaci těchto jevů v plastických těstech se ve svých pracích zabýval Williamson, chybí však kvantitativní údaje o vlivu těchto jevů na smrštění [4, 5]. Vztah smrštění sušením a deformace u kaolínových těst studoval Jedlička a našel výrazný růst smrštění s deformací [6].

U jílových suspenzí dochází k orientovanému ukládání jílových částic při filtraci, ale větší praktický dopad má orientace částic, vytvořená při lití do sádrových forem. Orientačními jevy a z toho plynoucím anizotropním smršťováním při sušení vysvětlili Brückner a Dietzel defekty vznikající při lití jílových suspenzí [7, 8].

Cílem této práce je konkretizovat údaje o anizotropii smrštění sušením, na kterou v minulosti upozornila řada prací, současně je však postižena i anizotropie smrštění pálením, která má ještě větší praktické důsledky.

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Měřené vzorky byly připraveny z těst kaolínů Sedlec Ia, KDA, Kaznějov KK a těsta porcelánové hmoty. Základní charakterizace použitých kaolínů plyne z údajů:

mechanická pevnost v lomu po vysušení

Sedlec Ia	2,5 MPa
KDA	16,5 MPa
Kaznějov KK	0,4 MPa

koncentrace ztekucené suspenze při viskozitě 0,5 Pas

Sedlec Ia	56 % sušiny
KDA	43 % sušiny
Kaznějov KK	68 % sušiny

Kaolín Sedlec je známá základní plastická surovina. Kaolín KDA je plastický kaolín, upravený intenzívním hnětením za přídavku elektrolytu. Kaolín Kaznějov je málo plastický kaolín s nízkou mechanickou pevností. Tyto tři suroviny reprezentují rozpětí, v němž se pohybují vlastnosti plastických surovin pro porcelán. Použitá porcelánová hmota byla tvořena ze 48 % plastickými surovinami, z toho 44 % kaolínů Sedlec.

Plastické těsto bylo připraveno z kaolínů rozděláním s vodou na konzistenci odpovídající deformačnímu poměru $D = 2$ podle Pfefferkorna [9]. Plastické těsto bylo odebráno z pásma vakuového pásmového lisu, jeho konzistence odpovídala $D = 1,8$.

Vzorky byly připraveny jednak vytlačováním na laboratorním pístovém lisu s válcovou komorou $\varnothing 32 \times 100$ mm, jednak vyformováním do kovové formy o vnitřních rozměrech $\varnothing 33 \times 40$ mm. Deformační proces, vytvářející usměrněnou orientaci částic ve vzorku, představovalo u vytlačovaných (vytažených) tělísek přetvoření těsta z výchozího průměru komory 32 mm do výstupního profilu:

kulaté ústí $\varnothing 5$ mm, $\varnothing 7$ mm, $\varnothing 10$ mm

hranaté ústí 3×30 mm, 5×30 mm, 8×30 mm.

Vyformovaná tělíska $\varnothing 33 \times 40$ mm byla opakovaným pádem desky Pfefferkornova přístroje deformována na různý deformační poměr D . V tomto případě došlo k reorientaci částic kolmo ke směru působící síly (tíže desky přístroje). Kromě laboratorního postupu byly vzorky vyříznuty ze syrových porcelánových výrobků, kde orientace částic byla určena tvarovacím procesem ve výrobě.

Smrštění bylo měřeno vždy ve směru rovnoběžně a kolmo k orientaci vytvořené deformačním procesem při výrobě zkušebního tělíska. Vzorky byly volně sušeny 24 hodin a poté při 105°C do konstantní hmotnosti. Vysušené vzorky byly páleny v provozní tunelové peci s dobou průchodu 38 hodin a nejvyšší teplotou 1380°C . Údaje smrštění byly vždy vztaženy na předchozí rozměr a ve většině případů jsou průměrem ze 20 vzorků, pouze u provozních vzorků bylo použito 40–60 ks.

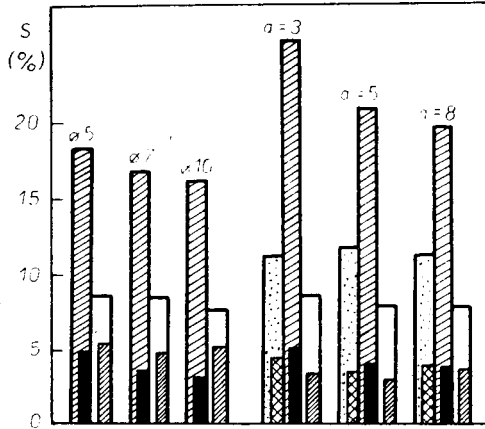
VÝSLEDKY A DISKUSE

Smrštění porcelánového těsta

Při protlačování těsta ústím pásmového lisu se výchozí náhodná orientace částic přeskupuje do směru vystupujícího pásma. Čím je výstupní ústí menší a deformace větší, tím výraznější jednosměrnou orientaci můžeme očekávat a větší

rozdíly ve smrštění. Na obr. 1 jsou hodnoty lineárního smrštění, naměřené na malých tažených tělíscích z porcelánového těsta.

Vliv velikosti deformace je zřetelný u hodnot smrštění v průřezu tělíska — kolmo ke směru orientace částic (černá políčka). S klesající deformací (zvětšující se ústí) klesá i smrštění v tomto směru. To platí při sušení i při pálení. Souvislost



Obr. 1. Smrštění sušením a pálením S u tělísek, připravených tažením z porcelánového těsta; válcová tělíska $\varnothing d \times 60$ mm, $d = 5$ mm, 7 mm, 10 mm
hranatá tělíska $a \times 30 \times 60$ mm, $a = 3$ mm, 5 mm, 8 mm

- smrštění pálením/sušením kolmo ke směru tažení
(v průměru d , v tloušťce a)
- smrštění pálením/sušením ve směru tažení (v délce 60 mm)
- smrštění pálením/sušením hranatých tělísek v šířce 30 mm

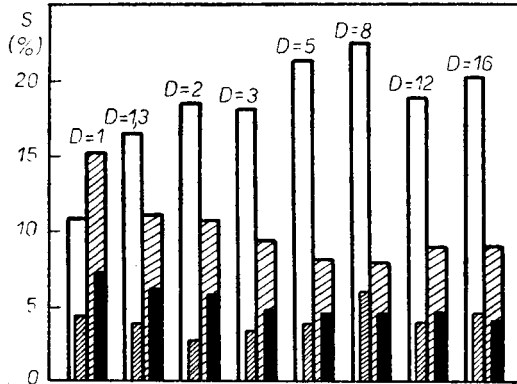
smrštění s velikostí deformace ve směru orientace částic však už není zřejmá (hustě šrafovaná políčka). Směrové rozdíly při sušení u válcových tělísek ani neodpovídají předpokladům, plynoucím z orientace částic. U hranatých tělísek tento rozpor není, ale rozdíly jsou příliš malé pro vyvození podstatných závěrů. Při smrštění kolem 5 % jsou rozdíly většinou menší než 1 %, což je průměrná hodnota variačního koeficientu měření.

Zcela jiná situace je ve smrštění pálením, kde smrštění ve směru kolmo k orientaci částic (šrafovaná políčka) je prakticky dvojnásobné proti hodnotě v rovnoběžném směru (17—18 % proti 8—9 %). U hranatých tělísek $3 \times 30 \times 60$ mm, kde dochází při tažení k největší deformaci, a tím i nejvýraznější orientaci částic, je tento rozdíl dokonce trojnásobný — 24 % proti 8 %. Souvislost smrštění pálením s velikostí deformace je jednoznačná pouze ve směru kolmo k orientaci částic — čím je větší deformace, tím je větší toto smrštění.

Vyjádríme-li anizotropii smrštění jako relativní rozdíl nebo podíl hodnot v obou směrech, pak její růst s deformací je rovněž zřetelný, ale vzhledem k hodnotám ve směru orientace částic není vztah tak jednoznačný. Z hodnot smrštění u hranatých tělísek můžeme usuzovat, že výrazná orientace vzniká pouze ve směru nejmenšího rozměru (3—8 mm), zatímco u kulatých tělísek je jediná orientace ve směru tažení.

Hlavní závěr z údajů na obrázku 1 spočívá v tom, že malé a neprůkazné změny ve smrštění sušením se podstatně zvýrazní při výpalu a anizotropie smrštění pálením odpovídá velikosti výchozí deformace.

V předchozím případě není příliš výstižně definována velikost deformace při přípravě zkušebního tělíska. Na obr. 2 jsou údaje o smrštění tělísek, která byla deformována z výchozího rozměru $\varnothing 33 \times 40$ mm pádem desky Pfefferkornova přístroje. Stlačováním válcového tělíska se výchozí orientace částic (přibližně rovnoběžně s válcem pláště) přeskupuje do směru rovnoběžně se základnami.



Obr. 2. Smrštění sušením a pálením u tělísek z porcelánového těsta (výchozí rozměr $\varnothing 33 \times 40$ mm), deformovaných stlačováním na různý deformační poměr D



smrštění pálením/sušením tělísek ve směru stlačení (na výšku)



smrštění pálením/sušením tělísek ve směru deformace (v průměru)

Reorientace částic se projevuje ve změně vzájemné relace smrštění v jednotlivých směrech. S rostoucí deformací proto roste smrštění na výšku (kolmo k vytvářené orientaci částic) a klesá smrštění v průřezu vzorku (rovnoběžně s vytvářenou orientací). Tato relace je velmi výrazná ve smrštění pálením. I přes rozptyl ve vyšších hodnotách D lze říci, že anizotropie smrštěním pálením roste s velikostí deformace při přípravě výchozího tělíska. Tento vztah však není lineární — počáteční růst anizotropie smrštění se posléze zpomaluje ($D > 8$).

Nemůžeme však uvést do jednoznačného vztahu anizotropii smrštění sušením a velikost výchozí deformace, protože změny smrštění ve směru orientace částic neodpovídají výchozí deformaci. I zde platí totéž, co u tažených tělísek: malé a nejednoznačné změny ve smrštění sušením se při výpalu zvětší a jednoznačně projeví. Z obr. 2 můžeme usuzovat, že změny smrštění při výpalu (následkem změny orientace částic) předbíhají změny při sušení.

Průběh deformace je určen jak vnějšími podmínkami, tak deformačními vlastnostmi použitého těsta. Jedním z určujících faktorů přitom je vlhkost těsta. Na obr. 3 vidíme, jak se mění smrštění u tělísek, vyrobených z těsta o různé vlhkosti a deformovaných na deformační poměr $D = 3$ a $D = 6$.

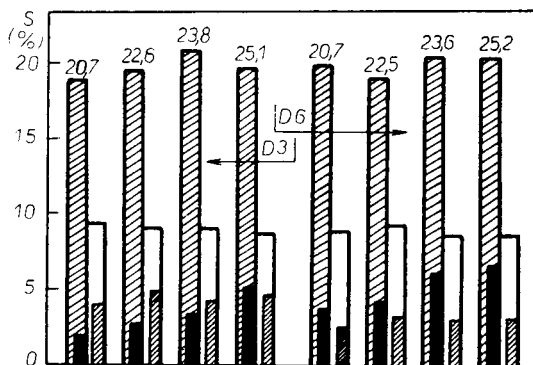
Vliv výchozí vlhkosti těsta je patrný pouze na smrštění sušením kolmo ke směru orientace částic (černá políčka). Vztah ke smrštění v druhém směru není však

patrný a totéž platí i pro smrštění pálením. Výchozí vlhkost se projevuje pouze na smrštění sušením, neovlivní smrštění při výpalu.

Smrštění kaolinových vzorků

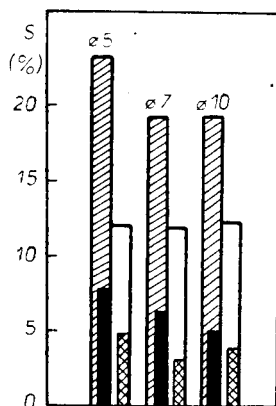
Měření na tělískách, připravených z těsta samotného kaolínu, ukázalo vliv výchozí deformace i na smrštění při sušení.

Na obr. 4 jsou údaje smrštění, naměřené na tažených tělískách kaolínu Sedlec. Už při sušení vznikají výrazné směrové rozdíly ve smrštění. Souvislost s velikostí deformace je však zjevná pouze ve směru kolmo k orientaci částic, takže velikost



Obr. 3. Smrštění sušením a pálením S u tělísek z porcelánového těsta (výchozí rozměr $\varnothing 33 \times 40$ mm) deformovaných na $D = 3$ a $D = 6$ při různé výchozí vlhkosti (%)

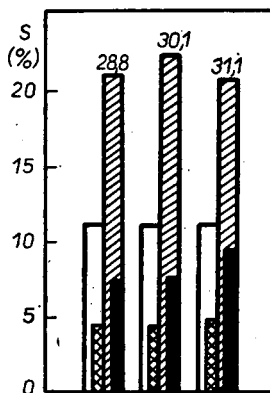
- smrštění pálením/sušením ve směru stlačení (na výšku)
- smrštění pálením/sušením ve směru deformace (v průměru).



Obr. 4. Smrštění sušením a pálením S u tělísek, připravených tažením z těsta kaolínu Sedlec (válcová tělíška $\varnothing d \times 60$ mm, $d = 5$ mm, 7 mm, 10 mm)

- smrštění pálením/sušením kolmo ke směru tažení (v průměru)
- smrštění pálením/sušením ve směru tažení (po délce).

anizotropie smrštění nemůžeme dát do jednoznačného vztahu k deformaci. Po výpalu je anizotropie smrštění ještě výraznější, ale rozdíl není tak velký jako u porcelánových vzorků. Obdobně se projevuje vliv výchozí vlhkosti těsta (obr. 5). Při sušení je zřetelná souvislost smrštění s vlhkostí, ale při výpalu je vliv neprůkazný.

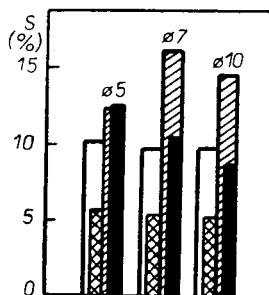


Obr. 5. Smrštění sušením a pálením S u tělísek z těsta kaolínu Sedlec (výchozí rozměr $\varnothing 33 \times 40$ mm), stlačených na $D = 3$ při různé výchozí vlhkosti těsta (%)

- smrštění pálením/sušením ve směru deformace (v průměru)
- smrštění pálením/sušením kolmo ke směru deformace (na výšku).

U plastičtějšího těsta kaolínu KDA (obr. 6) se projevy anizotropie smrštění ještě více přesunují z pálení do sušení. Vliv deformace na hodnotu smrštění i anizotropii smrštění je zjevný už při sušení, rozdíly po výpalu jsou relativně menší.

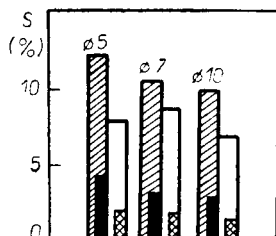
U těsta málo plastického kaolínu Kazdějov (obr. 7) nacházíme nejmenší směrové rozdíly ve smrštění při sušení i pálení. Jsou sice v relaci k výchozí deformaci při přípravě vzorku, ale vyjádřeno relativním rozdílem, anizotropie smrštění je u tohoto kaolínu nejmenší.



Obr. 6. Smrštění sušením a pálením S u tělísek, připravených tažením z těsta kaolínu KDA (válcová tělíska $\varnothing d \times 60$ mm, $d = 5$ mm, 7 mm, 10 mm)

- smrštění pálením/sušením ve směru tažení (po délce)
- smrštění pálením/sušením kolmo ke směru tažení (v průměru).

Hodnotíme-li výsledky na laboratorně připravených vzorcích (z porcelánového těsta i kaolínů), pak z nich vyplývá, že anizotropie smrštění sušením roste s plasticí-
ností použitého těsta, přitom se současně zmenšuje anizotropie smrštění pálením. U porcelánového těsta, tvořeného jen z poloviny plastickou složkou, je anizotropie smrštění výrazná pouze po výpalu. Velikost výchozí deformace se jednoznačně projevuje pouze na hodnotách smrštění ve směru kolmo k cirkulaci částic, vytvořené při přípravě zkušebního vzorku.



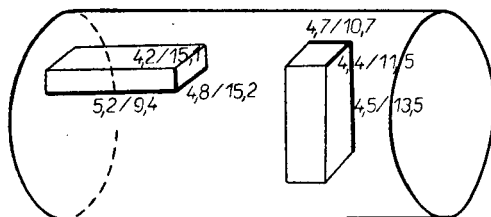
Obr. 7. Smrštění sušením a pálením S u tělísek, připravených tažením z těsta kaolínů Kaznějov (válcová tělíska $\varnothing d \times 60$ mm, $d = 5$ mm, 7 mm, 10 mm)

- smrštění pálením/sušením ve směru tažení (po délce)
- ▨ smrštění pálením/sušením kolmo ke směru tažení (v průměru)

Anizotropie smrštění u provozních vzorků

Předchozí údaje ilustrovaly anizotropii smrštění na laboratorně připravených vzorcích. Ukazuje se však, že i v podmínkách tvarování skutečných výrobků se vytváří orientovaná mikrostruktura způsobující velkou anizotropii smrštění. Už samotná příprava pásma plastického těsta ve vakuovém pásmovém lise představuje deformační proces, vyvolávající usměrněnou orientaci částic. Na obr. 8 jsou údaje o smrštění tělísek, vyříznutých z pásma rovnoběžně a kolmo ke směru tažení.

V pásmu se částice orientují do směru tažení a z toho plynou směrové rozdíly ve smrštění. Rozdíly ve smrštění sušením jsou nepodstatné, ale po výpalu jsou velmi velké. U tělísek orientovaných ve směru pohybu pásma je smrštění kolmo k předpokládané orientaci částic o 50 % větší než ve druhém směru. U příčně řezaných tělísek jsou tyto rozdíly menší, ale zde se uplatnila nerovnoměrnost mikrostruktury v průřezu 16 cm pásma a tělíska se při pálení prohýbala.



Obr. 8. Smrštění sušením/pálením v jednotlivých směrech u tělísek, vyříznutých z pásma plastického porcelánového těsta ve směru tažení a kolmo ke směru tažení pásma

Mnohem většího přetvoření těsta se dosahuje při vlastním tvarování — vytáčení plochého výrobku na formě. Tomu odpovídají i větší rozdíly ve smrštění. V tabulce I je přehled hodnot smrštění sušením a pálením, naměřených na provozních vzorcích. Vzorky byly vyříznuty ze syrových výrobků připravených vytvořením z těsta na sádrové formě (talíř, podšálek) a odlitých ze ztekucené suspenze do sádrové formy (ovál, konvice).

Tabulka I

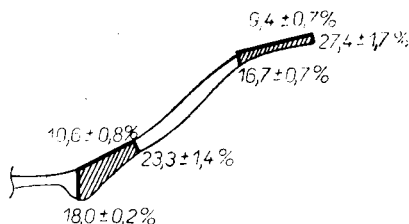
Smrštění vzorků, vyříznutých ze syrových výrobků

Vzorek	Směr	Smrštění sušením	Smrštění pálením
talíř hluboký	a	$3,2 \pm 1,0\%$	$20,0 \pm 1,6\%$
	b	$1,9 \pm 0,7$	$9,1 \pm 0,7$
podšálek	a	$4,2 \pm 1,1$	$15,8 \pm 2,4$
	b	$2,0 \pm 0,6$	$9,6 \pm 0,5$
oválná mísa	a	$2,5 \pm 1,0$	$18,0 \pm 2,5$
	b	$1,2 \pm 0,6$	$9,8 \pm 1,6$
čajová konvice	a	$3,6 \pm 1,4$	$18,8 \pm 1,7$
	b	$1,2 \pm 0,6$	$9,4 \pm 0,9$

a — smrštění kolmo k povrchu
b — smrštění rovnoběžně s povrchem

Uvedené hodnoty reprezentují průměry ze 40 vzorků. Smrštění sušením je ovlivněno vlhkostí výrobku v okamžiku přípravy tělíska. Při tvarování výrobku točením i litím se částice orientují rovnoběžně s povrchem, přičemž výrobek je poměrně tenkostěnný (3—5 mm). Rozdíly ve smrštění v jednotlivých směrech odpovídají předkládané orientaci částic, při sušení však nejsou tak výrazné jako při výpalu. V každém případě anizotropie smrštění při výpalu je natolik výrazná, že předčí řadu jiných faktorů ovlivňujících smrštění pálením.

Při tvarování výrobku vytáčením na formě dochází v jednotlivých místech k různému přetvoření těsta, a tím i různě dokonalému uspořádání částic do jednoho směru. Na obr. 9 jsou znázorněny hodnoty smrštění pálením, naměřené na vzorcích, vyřezaných z různých míst vytvořeného talíře



Obr. 9. Smrštění pálením, naměřené na vzorcích, vyříznutých z různých míst vytvořeného talíře ve směru rovnoběžně s povrchem a kolmo k povrchu výrobku (%).

Naměřené rozdíly jsou velmi markantní. Na okraji talíře, kde je největší deformace při tvarování, je smrštění pálením v kolmém směru k orientaci částic téměř trojnásobné proti hodnotě v rovnoběžném směru.

Rozdíly hodnot ve smrštění napovídají o rozdílné orientaci částic v jednotlivých místech výrobku, jakožto důsledku nerovnoměrné deformace při tvarování.

Vznik anizotropie smrštění a její důsledky

Uvažujme plastické těsto, tvořené ideálními destičkovitými částicemi jílového minerálu. Jestliže bychom z něho vytvořili těleso, v němž by částice byly uloženy zcela jednosměrně a rovnoběžně, pak by jeho smrštění odpovídalo anizometrii částic. Při poměru délky částice k tloušťce 10 : 1 a stejnoměrné tloušťce vodního filmu kolem částic by se smrštění sušením ve směru (001) a kolmo k tomuto směru mělo lišit v poměru 1 : 10. Ve skutečnosti takový rozdíl nikdy nemáme, i když anizotropie jílových částic je ještě větší. Jednak většina částic nejsou dokonalé pravidelné destičky, především však vytvořené uspořádáním částic má daleko do jednosměrné orientace. To potvrzují mikroskopické snímky lomových ploch vzorků, u nichž dochází k největší deformaci. Na obr. 10 je záběr z okrajové části vytočeného talíře. I když směr převládající orientace částic je zřejmý, zdaleka nemůžeme mluvit o jednosměrné orientaci. Na obr. 11 je záběr z lomové plochy taženého tělíska $3 \times 30 \times 60$ mm, připraveného z těsta kaolínu Sedlec. Vzhledem k menšímu zvětšení je převládající orientace částic zřetelná, ale přesto, že vzorek je tvořen pouze částicemi kaolinitu, má ještě daleko ke zcela jednosměrnému uspořádání.

Příklad velmi dokonalé usměrněné orientace jílových částic nalezneme např. u Fedy [10]. V praxi však není reálné dosáhnout tak usměrněné orientace v tělesech větších rozměrů.

Menší rozdíly ve smršťování u porcelánového těsta jsou pochopitelné, uvážíme-li, že téměř polovina pevné fáze je tvořena ostrohrannými, téměř izometrickými částicemi neplastické složky, které i při velké střížné deformaci těsta porušují pravidelnost orientované mikrostruktury.

Výsledky na vzorcích kaolínu ukazují, že anizotropie smrštění roste s plasticností suroviny, i když vnější deformace vzorku je stejná. V plastičtější surovině dochází k dokonalějšímu uspořádání částic, úplnější orientaci do jednoho směru. Větší rozdíly při sušení však automaticky neznamenají větší rozdíly při výpalu.

I když v této práci byl stav vzorku charakterizován deformací — vnějším přetvořením rozměrů, je zřejmé že pro smrštění bude rozhodující dosažené uspořádání částic. Kvantitativní charakterizace orientace částic v reálných tělesech je ovšem obtížná a provádí se spíše jen v mikroskopickém měřítku.

Mechanismus vzniku anizotropie smrštění sušením je vcelku zřejmý. Není už tak jednoznačný důvod, proč ještě výraznější je anizotropie smrštění pálením. U porcelánové hmoty bychom mohli předpokládat, že tavenina, vznikající při výpalu, plní obdobnou roli jako lyosféra kolem jílových částic při sušení plastického těsta. Při výpalu kaolínu je však množství vznikající viskózní fáze příliš malé, než abychom mu podobnou roli mohli přisoudit.

Jednodušší vysvětlení nabízí prostý termodynamický přístup: Rychlost slinování a reakcí při výpalu je úměrná povrchové energii částic, tedy i velikosti styčeného povrchu mezi částicemi. Při orientovaném uspořádání anizometrických částic tyto reakce budou probíhat rychleji mezi přilehlými paralelními plochami (001) než na kontaktu mezi hranami částic. Proto i smrštění pálením ve směru

kolmo k orientaci destičkovitých částic je podstatně větší než ve směru rovnoběžném.

Samotná anizotropie smrštění by nebyla na závadu tak jako fakt, že proměnné smrštění při různém prodeformování jednotlivých částí výrobků vede ke vzniku vnitřního napětí ve výrobku. Důsledkem je vznik trhlin při sušení a pálení. U tenkostěnných porcelánových výrobků, kde při výpalu vzniká viskózní fáze, vnitřní pnutí často vede k deformaci, projevující se jako křivení výrobku.

Ve výrobcích připravených litím ze suspenze nebo tvarováním plastického těsta nemůžeme orientační jevy a z toho plynoucí proměnné smrštění odstranit. Jestliže však přejdeme na technologii tvarování, kde dochází k minimálnímu vzájemnému posunu částic, navíc vyjdeme ze systému izometrických částic, pak lze rozdíly ve smrštění podstatně omezit. To je případ suchého lisování z granulátu tvořeného kulovitými částicemi. U takto lisovaných výrobků byly nalezeny velmi malé rozdíly ve smrštění pálením:

rovnoběžně s povrchem	$11,0 \pm 1,0\%$
v tloušťce střepu	$12,9 \pm 2,5\%$

Přitom jde o údaje z okrajové části stejného výrobku, jako na obr. 9 při stejném surovinovém složení. Malý rozdíl ve smrštění zřejmě plyne z větší deformace granulí v tloušťce střepu tenkostěnného výrobku.

Existenci anizotropie smrštění musíme brát v úvahu i při posuzování výsledků některých běžných zkoušek. Normový postup stanovení smrštění sušením a pálením předpisuje měření na tělískách o rozměrech $70 \times 35 \times 12$ mm, vyformovaných z plastického těsta [11]. Smrštění je udáno změnou délky uhlopříčky tělíska. Jediný údaj samozřejmě nemůže postihnout vliv mikrostruktury zkušebního tělíska. Rovněž při posuzování výsledků dilatačních zkoušek bychom neměli pominout vliv přípravy zkušebního vzorku.

ZÁVĚR

1. Vytváření přednostní orientace anizometrických částic v tělese připraveném tvarováním z plastického těsta nebo litím ze suspenze vede k anizotropii smrštění sušením a pálením.

2. Velikost smrštění ve směru kolmo k převládající orientaci částic závisí na velikosti výchozí deformace: čím je deformace větší, tím větší je anizotropie smrštění.

3. U těles připravených z plastického těsta porcelánové hmoty je anizotropie smrštění sušením nevýrazná. Teprve při pálení se rozdíly zvětšují tak, že smrštění pálením kolmo k orientaci částic je 2—3× větší než ve směru rovnoběžném.

4. Anizotropie smrštění roste s plastičností zpracovávaného těsta až do té míry, že rozdíly ve smrštění při sušení mohou přesáhnout rozdíly při pálení.

5. Výchozí vlhkost těsta se uplatňuje na smrštění sušením a neovlivní anizotropii smrštění při výpalu.

6. Při vyhodnocování závěrů z běžných měření délkových změn při sušení a pálení je nutno brát v úvahu vliv přípravy zkušebních tělísek vzhledem k existenci anizotropie smrštění.

Literatura

- [1] Weymouth J. H., Williamson W. O.: Amer. J. of Science 251, 81 (1953).
- [2] Entelis F.: Steklo i keramika 1975, 12, 19.
- [3] Procházka V., Fošenbauerová R.: Sklár a keramik 15, 84 (1965).
- [4] Williamson W. O.: Trans. Br. Cer. Soc. 54, 413 (1955).
- [5] Williamson W. O. v knize *Ceramic Fabrication Processes* (ed. W. Kingery) str. 89—98, J. Wiley and sons, New York 1958.
- [6] Jedlička P.: Reologie 74, Výzkumná zpráva VÚJK, Karlovy Vary 1974.
- [7] Brückner R., Dietzel A.: Ber. Deut. Ker. Ges. 44, 592 (1967).
- [8] Brückner R.: Tonind. Zeit. Ker. Rdsch. 91, 401 (1967).
- [9] ČSN 721074: Stanovení rozdělovací vody a úsila plastičnosti keramických surovin a hmot metodou podle Pfefferkorna.
- [10] Feda J.: *Základy mechaniky partikulárních látek*. Academia, Praha 1977, str. 105.
- [11] ČSN 72 1074: Stanovení délkových změn keramických surovin sušením a pálením.

АНИЗОТРОПИЯ УСАДКИ, ВЫЗВАННОЙ СУШКОЙ И ОБЖИГОМ

Павел Выцудилик, Ирена Жакова

Научно-исследовательский институт тонкой керамики,
360 08 Карловы Вары—Бржезова

Рассматривали анизотропию усадки у тест из каолинов (Седлец, пластический KDA, непластический Казнеев) и у фарфорового теста. Образцы вытягивали на поршневом прессе или формировали и прессовали, далее измеряли промышленные образцы. У фарфорового теста наблюдали при сушке небольшие различия в направлении при усадке, которые при обжиге многократно увеличиваются (рис. 1). У прессованных образцов на величины усадки оказывает явное влияние перегруппировка ориентации частиц (рис. 2). Влага теста оказывает влияние на усадку при сушке в направлении перпендикулярно к ориентации частиц, но не оказывает влияние при обжиге (рис. 3). У каолиновых тест с растущей пластичностью увеличивается анизотропия усадки. Одновременно относительные различия смещаются с обжига в сушку (рис. 4—7). Влияние деформации и влажности можно доказать только на величинах усадки перпендикулярно к ориентации частиц. Анизотропия усадки вызывается преимущественной ориентацией анизометрических частиц. Уже приготовление теста в ленточном прессе является источником ориентационных явлений и разной усадки (рис. 8). Промышленные образцы имеют большие различия усадки при обжиге (табл. 1). Результатом переменной деформации является неодинаковая усадка в изделии, которая оказывает неблагоприятное влияние на его качество (рис. 9). В случае достижения полной ориентации частиц в одном направлении анизотропия усадки гораздо больше. Однако у реальных тел полученная ориентация резко отличается от упорядочения в одном направлении (рис. 10, 11). Анизотропия усадки связывается с направленной ориентацией частиц при формировании и только подавлением ориентационных явлений можно ее устранить. Поэтому приходится весьма осторожно делать выводы на основании измеренных изменений длины при сушке и обжиге.

Рис. 1. Усадка сушкой и обжигом S у тел, приготовленных вытягиванием из фарфорового теста; цилиндрические тела $\varnothing d \times 60$ мм, $d = 5$ мм, 7 мм, 10 мм, граненые тела $a \times 30 \times 60$ мм, $a = 3$ мм, 5 мм, 8 мм




-  усадка обжигом/сушкой перпендикулярно к направлению вытягивания (диаметром d, толщиной a)
-  усадка обжигом/сушкой в направлении вытягивания (длиной 60 мм),
-  усадка обжигом/сушкой граненых тел шириной 30 мм.

Рис. 2. Усадка сушкой и обжигом у тел из фарфорового теста (исходный размер $\varnothing 33 \times 40$ мм), деформированных прессованием на разное деформационное отношение D;



-  усадка обжигом/сушкой тела в направлении прессования (в длину),
-  усадка обжигом/сушкой тел в направлении деформации (в среднем).

Рис. 3. Усадка сушкой и обжигом S у тел из фарфорового теста (исходный размер $\varnothing 33 \times 40$ мм), деформированных в $D = 3$ и $D = 6$ при разной исходной влажности (%);



-  усадка обжигом/сушкой в направлении прессования (в высоту),
-  усадка обжигом/сушкой в направлении деформации (в среднем).

Рис. 4. Усадка сушкой и обжигом S у тел, приготовленных вытягиванием из теста каолина Седлец (цилиндрические тела $\varnothing d \times 60$ мм, $d = 5$ мм, 7 мм, 10 мм);



-  усадка обжигом/сушкой перпендикулярно к направлению вытягивания (в среднем),
-  усадка обжигом/сушкой в направлении вытягивания (длины).

Рис. 5. Усадка сушкой и обжигом S у тел из теста каолина Седлец (исходный размер $\varnothing 33 \times 40$ мм), сжимаемых до $D = 3$ при разной исходной влажности теста (%);



-  усадка обжигом/сушкой в направлении деформации (в среднем),
-  усадка обжигом/сушкой перпендикулярно к направлению деформации (на длину).

Рис. 6. Усадка сушкой и обжигом S у тел, приготовленных вытягиванием из теста каолина KDA (цилиндрические тела $\varnothing d \times 60$ мм, $d = 5$ мм, 7 мм, 10 мм);



-  усадка обжигом/сушкой в направлении вытягивания (длиной),
-  усадка обжигом/сушкой перпендикулярно к направлению вытягивания (в среднем).

Рис. 7. Усадка сушкой и обжигом S у тел, приготовленных вытягиванием из теста каолина Казнеев (цилиндрические тела $\varnothing d \times 60$ мм, $d = 5$ мм, 7 мм, 10 мм);



-  усадка обжигом/сушкой в направлении вытягивания (длиной),
-  усадка обжигом/сушкой перпендикулярно к направлению вытягивания (в среднем).

Рис. 8. Усадка сушкой/обжигом в отдельных направлениях у тел, вырезанных из зоны пластического фарфорового теста в направлении вытягивания и перпендикулярно к направлению вытягивания зоны.

Рис. 9. Усадка обжигом, измеренная на образцах, вырезанных из разных мест разведенной тарелки в направлении параллельно с поверхностью и перпендикулярно к поверхности изделия (%).

Рис. 10. Съемка поверхности излома из края разведенной тарелки.

Рис. 11. Съемка поверхности излома вытягиваемого тела $3 \times 30 \times 60$ мм из каолина Седлец.

ANISOTROPY OF DRYING AND FIRING SHRINKAGE

Pavel Vycudilík, Irena Žáková

Research Institute of Fine Ceramics, 360 08 Karlovy Vary-Březová

The shrinkage anisotropy was studied on pastes of kaolins (Sedlec, plastic KDA, non-plastic Kaznějov) and on porcelain pastes. The specimens were drawn on a piston press or shaped and compressed; samples from commercial production were also measured. The small directional in drying shrinkage of porcelain pastes increase several times on firing (Fig. 1). The shrinkage values of compressed specimens indicate the effect of directional rearrangement of the particles (Fig. 2). The moisture content of the paste affects drying shrinkage in the direction perpendicular to the direction of particles but does not influence firing shrinkage (Fig. 3). With kaolin pastes the shrinkage anisotropy increases with increasing plasticity and the relative differences tend to shift from firing to drying (Figs. 4 through 7). The effect of deformation as well as moisture content is definite only for shrinkage perpendicularly to the orientation of particles. The shrinkage anisotropy is a result of preferential orientation of anisometric particles. The very preparation of paste on the auger is a source of orientation phenomena and

differential shrinkage (Fig. 8). Samples from commercial production show large differences in firing shrinkage (Table I). Variable deformation results in unequal shrinkage of the ware and has an unfavourable effect on its quality (Fig. 9). If a quite unidirectional orientation of particles could be achieved, the shrinkage anisotropy would be much larger. However, with real ceramic bodies the orientation actually achieved is far from unidirectional arrangement (Figs. 10, 11). Shrinkage anisotropy is related to directed orientation of particles on shaping, and can only be eliminated by suppressing the orientation phenomena. In view of its existence one has to be careful when reaching conclusions on the basis of measured changes in length due to drying and firing.

Fig. 1. Drying and firing shrinkage S for bodies prepared by drawing from porcelain paste cylindrical specimens dia. $d \times 60$ mm, $d = 5$ mm, 7 mm, 10 mm rectangular specimens $a \times 30 \times 60$ mm, $a = 3$ mm, 5 mm, 8 mm




-  firing shrinkage | drying shrinkage for porcelain paste bodies perpendicularly to drawing direction (diameter d , thickness a)
-  firing|drying shrinkage in the direction of drawing (60 mm in length)
-  firing|drying shrinkage of rectangular specimens 30 mm in length

Fig. 2. Drying and firing shrinkage of porcelain paste specimens (initial size dia. 33×40 mm), deformed by compression to various deformation ratios D



-  firing|drying shrinkage of body in the direction of compression (over height)
-  firing|drying shrinkage in the direction of deformation (over diameter)

Fig. 3. Drying and firing shrinkage S of porcelain paste specimens (initial size dia. 33×40 mm), deformed to $D = 3$ mm and $D = 6$ mm at various initial moisture contents (%)



-  firing|drying shrinkage in the direction of compression (over height)
-  firing|drying shrinkage in the direction of deformation (over diameter)

Fig. 4. Drying and firings Shrinkage S of bodies prepared by drawing from Sedlec kaolin paste (cylindrical specimens dia. $d \times 60$ mm, $d = 5, 7, 10$ mm)



-  firing|drying shrinkage perpendicularly to the direction of drawing (over diameter)
-  firing|drying shrinkage in the direction of drawing (over length)

Fig. 5. Drying and firing shrinkage S of bodies of Sedlec kaolin paste (initial size dia. 33×40 mm) compressed to $D = 3$ at various initial moisture contents in paste (%)



-  firing|drying shrinkage in the direction of deformation (over diameter)
-  firing|drying shrinkage perpendicularly to the direction of deformation (over height).

Fig. 6. Drying and firing shrinkage S for bodies prepared by drawing of KDA kaolin paste (cylindrical specimens dia. $d \times 60$ mm, $d = 5, 7, 10$ mm)



-  firing|drying shrinkage in the direction of drawing (lengthwise)
-  firing|drying shrinkage perpendicularly to the direction of drawing (over diameter)

Fig. 7. Drying and firing shrinkage S of bodies prepared by drawing from Kaznějov kaolin paste (cylindrical specimens dia. $d \times 60$ mm, $d = 5, 7, 10$ mm)



-  firing|drying shrinkage in the direction of drawing (lengthwise)
-  firing|drying shrinkage perpendicularly to the direction of drawing (over diameter)

Fig. 8. Drying|firing shrinkage in the various directions on specimens cut from plastic extruded strip (porcelain) in the direction of, and perpendicular to, drawing.

Fig. 9. Firing shrinkage measured on specimens cut from various points of jiggered dish, parallel to, and perpendicularly with the ware surface (%).

Fig. 10. Fracture surface from the rim of jiggered dish.

Fig. 11. Fracture surface of drawn specimen $3 \times 30 \times 60$ mm of Sedlec kaolin.

NOVÉ ŽÁROVZDORNÉ MATERIÁLY A POMOCNÉ PROSTŘEDKY Z MŠLZ

Ve dnech 31. října až 1. listopadu 1984 byly v Blansku uspořádány Dny nové techniky. Cílem bylo seznámení se současným výrobním programem, připravovanou inovací a dalším vývojem žárovzdorných materiálů a pomocných látek v Moravských šamotových a lupkových závodech, n. p., Velké Opatovice.

Na DNT spolupracovala:

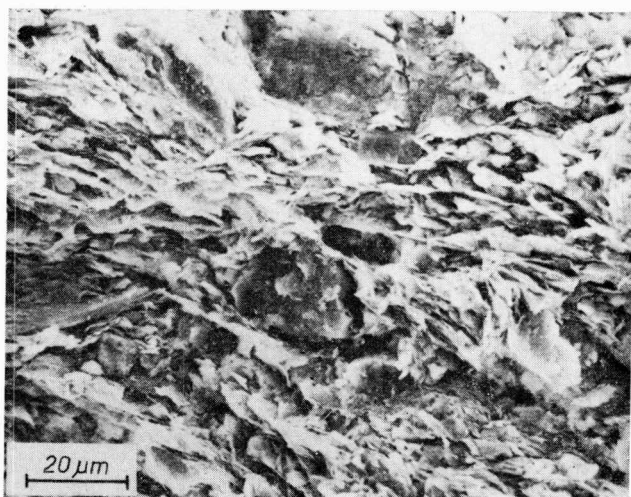
- Pobočka ČSVTS — MŠLZ n. p. Velké Opatovice
- Pobočka ČSVTS — MŠLZ, závod Rájec-Jestřebí
- Výzkumný ústav keramiky Plzeň, pracoviště Rájec-Jestřebí (VÚK)
- Moravské šamotové a lupkové závody, n. p., Velké Opatovice (MŠLZ).

Přednesená témata o problémech žárovzdornin byly uspořádány do Sborníku. Po každé přednášce následovala diskuse.

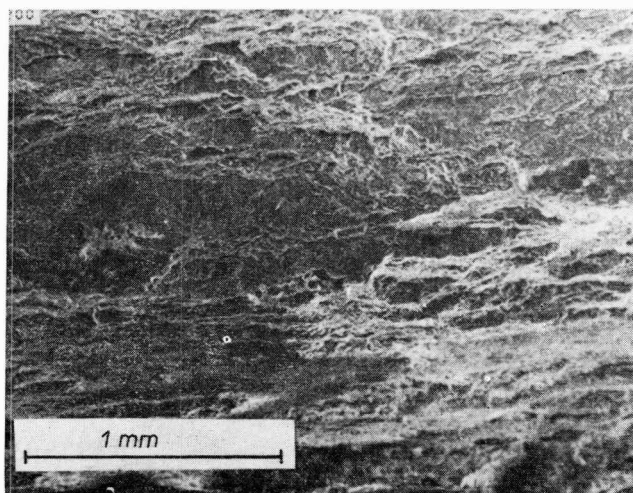
Přehled přednášek:

1. J. Staněk, Kučera V., Kanclíř R., Ing. Langer J., VÚK, Koncepce výroby speciálních žáromateriálů v ČKZ pro hutnické provozy.
2. Ing. Bezděk V., MŠLZ — Nové speciální šamotové známky vyráběné v závodě MŠLZ Velké Opatovice.
3. Ing. Švéda A., MŠLZ — Pálené lupky ze závodu Morava.
4. Prof. Dr. Lach V., Ing. Lang K., Ing. Novotný B., VUT-FS-KTSH — Některé poznatky o zahraničních výrobcích dinasů.
5. Dr. Ing. Pokorný A. G., CSc., VÚSH — Uplatnění kyslíku v systému spalování.
6. Řehoř J., MŠLZ, Kanclíř R., VÚK — Současný stav a perspektivy výroby kachloví v provozovně MŠLZ Letovice.
7. Kočvara R., MŠLZ — VVZ — Elektromagnetická separace pálených lupků.
8. Ing. Krupanský J., CSc. a Ing. Šrámek O., MŠLZ—VVZ — Plastická žárovzdorná hmota.
9. Havlín D., PKÚ cihlářská výroba a keramická prefabrikace — Využití pálených tvarovek z plastické žárovzdorné hmoty.
10. Ing. Henek M., MŠLZ—VVZ — Žárovzdorné tmely Rudokit.
11. Ing. Ševčík F., Teplotechna—OVV — Tmely používané na stavbách O. p. Teplotechna.
12. Ing. Šrámek O., MŠLZ—VVZ — Bezvodá ucpávková hmota.
13. Ing. Hrubý K., SVÚM—SV a Ing. Henek M., MŠLZ—VVZ — Dusací korundová hmota pro vystýlky indukčních kanálových udržovacích pecí.
14. Ing. Láník I., VÚK — Univerzální bezgrafitové mazadlo na formy pro tlakové lití kovů.
15. Pirochta D., ZVs Kovolit — Poznatky z provozní aplikace mazadel v k. p. Kovolit Modřice.
16. Ing. Ragan E., CSc. a Ing. Nestor I., Vihorlat n. p., — Overovací skúšky mazadla na formy pro tlakové lité železných zliatin.
17. Ing. Havelka O., Ing. Bělík V., Ing. Láník I., VÚK — Ochrana kokil pro gravitační odlévání šedé litiny.
18. Ing. Čípek K., Ing. Pantůček A., ČKD — Provozní zkušenosti s ošetřováním kokil pro odlévání šedé litiny.
19. Ing. Havelka O., Ing. Bělík V., VÚK — Ochrana kovových chladicích pecí ve sklárnách.
20. Ing. Láník I., VÚK — Separáční prostředek na kokily pro odlévání Cu slitin.
21. Ing. Vaněk M., Ing. Broušek J., VÚK — Použití keramických pomocných materiálů čs. výroby pro odlévání Al a jeho slitin.
22. Ing. Frühbauer M., MŠLZ — Současná výroba a sortiment slévárenských písků v závodě MŠLZ.
23. Ing. Hamerský Z., MŠLZ — Izolační obklady nálitků.
24. Dipl. Ing. mont. Fiala L., Rakousko — Přehled výrobního programu firmy IFE.
25. Dipl. Ing. Giersig L. A., firma Nesch, NSR — Stanovení tepelné vodivosti metodou horkého drátu.

Lach, Pokorný



Obr. 10. Snímek lomové plochy z okraje vytočeného talíře.



Obr. 11. Snímek lomové plochy taženého tělíska 3 × 30 × 60 mm z kaolínu Sedlec.