

ZMĚNY PROPORCE VOLNÉ A VÁZANÉ VODY V CEMENTOVÉ SUSPENZI V PRVNÍ ETAPĚ HYDRATACE

TIBOR SEBŮK

*Výzkumný ústav pozemních staveb Praha, pracoviště Gottwaldov
764 32 Gottwaldov — Louky*

Došlo 27. 6. 1985

Z celkového množství záměsové vody v cementové suspenzi je ihned v první etapě hydratace část vázána částicemi cementu. Zbylé množství vody tvoří vodu volnou, která rozhodujícím podílem ovlivňuje reologické vlastnosti suspenze.

U metody Enslinovy a lisovaných tablet je množství zadržené vody závislé významně na mezerovitosti vzorku proto, že v mezerách mezi zrny se nachází voda volná. Při použití metody odstředění zůstává ve vzorku pouze voda vázaná, a to pevnou fází nebo kapilárními silami. Množství vázané vody určené metodou odstředování u testovaných druhů cementů lišících se výrazně fázovým složením v termínu 20 minut hydratace bylo určeno hodnotou $0,34 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ podle Blaína. Hodnoty získané pro jednotlivé testované cementy se od této průměrné hodnoty liší nevýznamně.

ÚVOD

Při styku vody a cementu dochází ihned v první etapě ke smáčení povrchu zrn a k počátku procesu hydratace. Jak bylo již mnoha pracemi prokázáno v první etapě interakce cementu s vodou dochází k dominantní hydrataci C_3A a následně k hydrataci dalších fází [1]. Helmuth R. A. uvádí [2], že v počátečním časovém intervalu hydratace, krátce po smíchání cementu s vodou, může být hydratováno až 10 % z obsahu C_3A . Z toho tedy vyplývá, že v důsledku uvedeného dynamického procesu se voda celková V_c v suspenzi rozdělí na podíl volné vody V_2 vyplňující volný prostor mezi zrny cementu a podíl V_1 , který je vázán fyzikálními silami k povrchu částic nebo je vázán ve struktuře novotvarů [2]. Platí tedy

$$V_c = V_1 + V_2. \quad (1)$$

Význam podílu V_2 spočívá v tom, že rozhodujícím způsobem ovlivňuje reologické vlastnosti cementové suspenze, jak bylo prokázáno mnoha pracemi. Stejně tak zpracovatelnost betonové směsi je rozhodující měrou určována obsahem volné vody. Vliv V_2 na změnu zpracovatelnosti betonové směsi lze určit pro názornou představu z přibližného Storkova vztahu [3] ve tvaru

$$\log K = \frac{173 - V_2}{66,5}, \quad (2)$$

kde K je zpracovatelnost směsi (s VeBe).

Z velice stručného nástinu problematiky je zřejmé, že význam změn proporce V_1 a V_2 ihned v počáteční etapě hydratace je značný. Vzhledem k dynamice změny proporce V_1 a V_2 je její stanovení velice obtížné a dosud této problematice bylo věnováno málo pozornosti. Proto byla v rámci této práce zaměřena pozornost na možnost stanovení podílu vázané vody použitím různých metod.

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Použité hmoty

Pro zkoušky byly připraveny 4 druhy cementů pomletím slínek z různých cementáren s chemicky čistým $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ v poměru 95 : 5 dílů hmotnostních. U všech cementů bylo stanoveno opticky na výbrusech slínek fázové složení. Zjištěné údaje jsou v tab. I.

Tabulka I

Fázové složení použitých cementů

Fázové složení	Cement zhotoven ze slínek z cementáren			
	Maloměřice (M)	B. Bystrica (B. B.)	Čížkovice (Č)	Štramberk (Š)
C_3S	77,34	78,38	68,20	67,34
C_2S	6,52	2,71	13,30	13,91
C_4AF	14,80	14,40	9,14	8,68
C_3A	1,14	4,02	8,85	9,98
vol. CaO	0,19	0,48	0,44	0,09
%	99,99	99,99	99,99	100,00

Měrný povrch cementů byl zvolen v rozmezí 0,25 až 0,5 $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ podle Blaina. U všech cementů byl současně stanoven měrný povrch cementů metodou BET. Výsledky jsou v tab. II.

V rámci zkoušek byla použita destilovaná voda.

Tabulka II

Měrný povrch hodnocených cementů

(U metody podle Blaina jsou hodnoty ležící v intervalu povoleného rozptylu zaokrouhleny)

Blaine $S_p \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$	0,25	0,30	0,35	0,40	0,50
Druh cementu	měrný povrch BET $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$				
Maloměřice	1,07	1,23	1,30	1,40	1,57
B. Bystrica	—	1,71	2,16	2,03	2,18
Čížkovice	0,92	1,22	1,76	1,89	1,86
Štramberk	1,65	1,50	—	1,77	1,96

ZKUŠEBNÍ METODIKA

Enslinova metoda

Při zkoušce bylo postupováno podle ustanovení ČSN 72 1029. Metoda byla modifikována tak, že na fritový podklad přístroje byl umístěn kotouček nitrocelulozového membránového filtru Sympor č. 5 s velikostí pórů 600 ± 100 nm, na který byla nasypán vzorek cementu o hmotnosti 1 g. Výsledky jsou v obr. 1A. Každý výsledek v obr. 1A je průměrem ze čtyř stanovení.

Metoda odstředování

Pro zkoušky byla použita ultracentrifuga typ Janetzski VAC 40 u. Sestava speciálních kyvet použitých pro zkoušky je zřejmá z obr. 2. Výsledky jsou uvedeny v obr. 1B. Každá hodnota je průměrem ze tří zjištění.

Vzorek byl pro zkoušku připraven tak, že na bronzové síto byl umístěn kotouč z nitrocelulozového membránového filtru Sympor č. 5. Na něj bylo nasypáno 5 g cementu a přidáno ve třech dávkách po 1 minutě celkem 3,3 g H_2O . Po 2 minutách od přidání poslední dávky vody byl vzorek odstředěn při 15 000 otáčkách za minutu po dobu 15 minut. Po odstředění byly zváženy díly A, B kyvety a byla zjištěna hmotnost smáčeného vzorku vodou a samostatně hodnot filtrátu.

Pro korekční výpočty byla zjištěna koncentrace rozpuštěných složek cementů ve filtrátech ($g \cdot dm^{-3}$). Koncentrace byla u jednotlivých cementů (označení viz tab. I.) následující: $S = 6,6$; $C = 21$; $B.B. = 10,8$; $M = 7,1$.

Metoda lisovaných vzorků

Pro zkoušky byly použity vzorky cementů o hmotnosti 5 g, z nichž byly působením tlaku 5,46 až 54,6 MPa vylišovány tablety $\varnothing 10,8$ mm. Vzorky byly uloženy na nitrocelulózový membránový filtr Sympor č. 5 ležící na fritové podložce Enslinova přístroje. Experimentálně bylo zjištěno, že po 10 minutách je docíleno nasycení vzorku vodou. Pro srovnatelnost výsledků získaných odstředěním byly až po 20 minutách nasávání vody zjištěny údaje vzorků nutné pro výpočet množství zadržené vody. Hmotnost vody byla zajištěna jako rozdíl hmotnosti lisovaného vzorku před a po nasáknutí.

Absolutní objem mezer vzorku po nasáknutí byl určen výpočtem z rovnice

$$m_v = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h - \frac{C}{\gamma_c}, \quad (3)$$

kde m_v je absolutní objem mezer (cm^3),

$\pi = 3,14$,

d – průměr vzorku po nasáknutí (cm),

C – hmotnost vzorku před nasáknutím (g),

γ_c – měrná hmotnost cementu ($g \cdot cm^{-3}$),

h – výška vzorku po nasáknutí (cm).

VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Výsledky v obr. 1 byly podrobeny regresní analýze na počítači s tímto výsledkem: Pro průběh závislosti sorpce vody na změně měrných povrchů cementů zjištěné ultracentrifugou i Enslinovou metodou nejlépe vyhovuje rovnice přímkou.

Pro jednotlivé cementy i pro celý soubor testovaných cementů jsou regresní koeficienty uvedeny v tab. III. Ze zjištěných údajů vyplývá, že růst sorpce vody u cementů v závislosti na měrném povrchu je výrazně větší při použití Enslinovy metody než při použití ultracentrifugy.

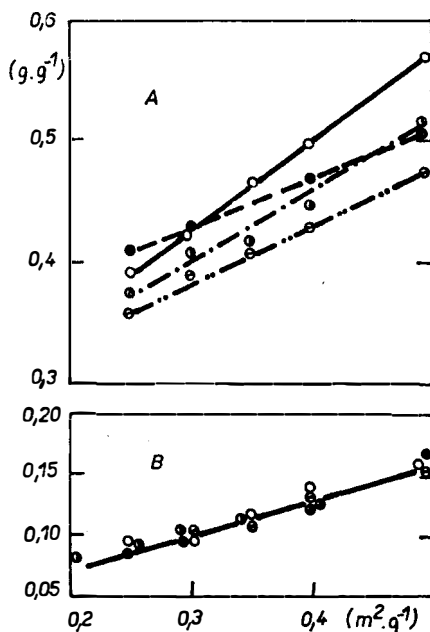
Tabulka III

Výsledky matematické analýzy sorpčních charakteristik

Cement	Enslinova metoda			Ultracentrifuga		
	k	q	R	k	q	R
Maloměřice	0,562	0,231	0,984	0,248 6	0,052	0,987 0
Čížkovice	0,697	0,222	0,997	0,261 6	0,045	0,973 6
B. Bystrica	0,438	0,253	0,994	0,220 0	0,055 8	0,983 0
Štramberk	0,400	0,31	1,00	0,323 0	0,020	0,989 6
Celý soubor měření	0,525	0,253	0,898	0,263 3	0,043	0,968 1

k , q regresní koeficienty, R koeficient korelace

U Enslinovy metody je průběh závislosti významněji ovlivněn druhem cementu (obr. 1A). Porovnáním fázového složení cementů a jejich sorpční charakteristikou v rozsahu povrchů 0,25 až 0,5 $m^2 \cdot g^{-1}$ lze vysledovat pouze tendenci vyšší sorpce

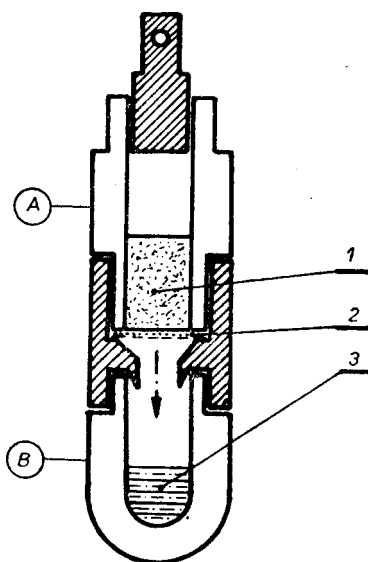


Obr. 1. Závislost změny sorpční charakteristiky cementů na měrném povrchu stanovené: A — Enslinovou metodou; B — ultracentrifugou. Symboly značí druh cementu: \circ — Č; \bullet — Š; \bullet — M; \circ — B.B.

H₂O u cementů s vyšším obsahem C₂A. Jednoznačná závislost mezi těmito proměnnými nebyla z experimentálních výsledků zjištěna.

Z obr. 1B je zřejmé, že rozdíly sorpce jednotlivých vzorků cementů hodnocených ultracentrifugou jsou podstatně menší. Také z hodnot směrnice přímků pro jednotlivé vzorky i pro celý soubor všech vzorků je patrné, že změna sorpce vody na změně měrného povrchu cementů je podstatně menší než v závislosti v obr. 1A.

V další etapě byly výsledky analyzovány použitím statistické analýzy na počítači. Pro názornost jsou vybrány v tab. IV. výsledky analýzy platné pro hraniční meze intervalu měrných povrchů cementů. Tyto výsledky jednoznačně prokazují, že rozptyl zjištěných hodnot sorpce u jednotlivých cementů je výrazně vyšší při použití Enslinovy metody, než při použití ultracentrifugy. Tyto výsledky a závislost v obr. 1B umožňují učinit závěr, že druh cementu nemá dominantní vliv na množství zadržené vody při zvoleném měrném povrchu proto, že získané hodnoty u různých cementů se od průměru odlišují málo.



Obr. 2. Řez kyvetou pro odstředění vzorků; A — horní díl se vzorkem, B — dolní díl po jímání filtrátu, 1 — vzorek, 2 — bronzové síto s filtrem, 3 — filtrát.

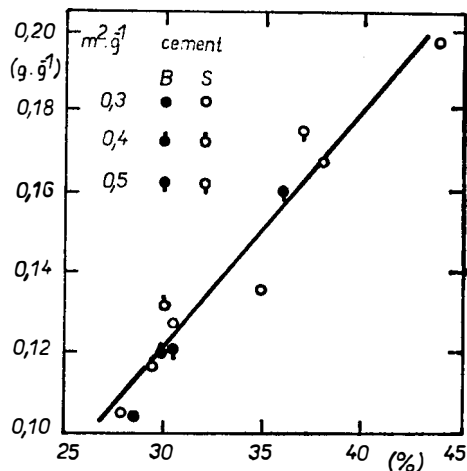
Tabulka IV

Výsledky statistické analýzy sorpčních charakteristik u mezních hodnot měrných povrchů cementů

Měrný povrch	Enslinova metoda				Ultracentrifuga				
	x	s^2	s	w	x	s^2	s	w	M
0,25 m ² · g ⁻¹	0,384	40 · 10 ⁻⁵	0,02	0,053	0,108 7	6 · 10 ⁻⁵	7,78 · 10 ⁻⁵	0,021	0,110 9
0,50 m ² · g ⁻¹	0,517 5	126 · 10 ⁻⁵	0,035	0,100	0,173 2	2,5 · 10 ⁻⁵	5,06 · 10 ⁻⁵	0,014	0,173 5

x aritmetický průměr; s^2 rozptyl; s směrodatná odchylka; w variační rozpětí; M median

Na otázku, který parametr má tedy u srovnávaných metod dominantní vliv na množství zadržené vody, odpovídají výsledky v obr. 3, z kterých vyplývá, že toto množství vody závisí přímo úměrně na absolutním objemu mezer ve vzorku. Tento závažný poznatek potvrzují i výsledky v tab. V., z kterých je dále zřejmé, že při stejných ostatních experimentálních podmínkách je vliv vlastnosti a fázového složení cementů na rozdíly v množství zadržené vody velice malý.



Obr. 3. Vliv změny objemu mezer lisovaného vzorku z cementů S a B na změnu množství zadržené vody.

Tabulka V

Základní sorpční charakteristiky lisovaných vzorků z různých cementů o měrném povrchu $0,3 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ podle Blaina. Každý údaj je průměr ze tří zjištění

Cement	Výpočtový objem mezer cm^3	Objem nasáté vody cm^3	Podíl nezaplněných mezer (%)	Zadržaná voda $\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$
Čížkovice	0,628 1	0,570	9,26	0,114 1
Maloměřice	0,685 3	0,606	11,57	0,121
B. Bystrica	0,637 3	0,569	10,71	0,113
Štramberk	0,693 9	0,631	9,05	0,125 0

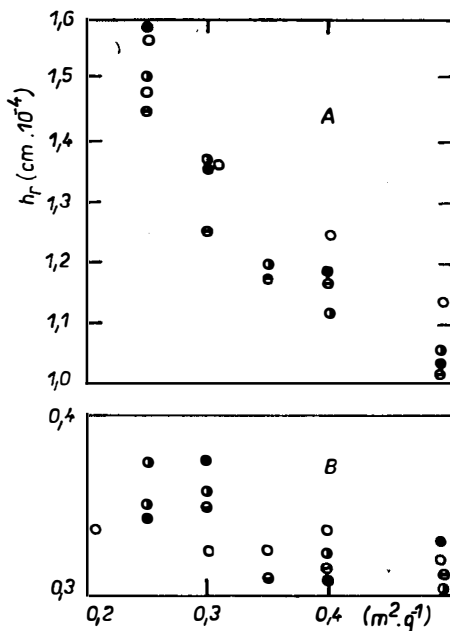
Tyto údaje je možné ještě názorněji analyzovat a potvrdit výsledky v obr. 4. V tomto obrázku jsou uvedeny závislosti změn tloušťky vodního filmu vypočtené z rovnice (4) na změně měrného povrchu cementů

$$h_r = \frac{v_0}{S_p}, \quad (4)$$

h_r — tloušťka vodního filmu obalující částici cementu (cm),
 v_0 — absolutní objem vody zadržené vzorkem (cm^3),
 S_p — měrný povrch cementu podle Blaina (cm^2).

Výsledky v obr. 4B dokazují, že absolutní hodnoty h_r u vzorků hodnocených na ultracentrifuze jsou o řád menší než stejné hodnoty získané použitím Enslinovy metody (obr. 4A).

Helmuth [2] uvádí, že již v počáteční fázi hydratace bezprostředně po smíchání cementu s vodou se vytváří na povrchu zrn hutná vrstva ettringitu tloušťky $0,8 \mu\text{m}$. Vezmeme-li za základ tyto údaje, pak lze výpočtem určit, že podíl vody vázané v ettringitu by u hodnocených cementů při přepočtu pokrýval povrch zrn filmem $h_r = 0,36 \mu\text{m}$. To je ve velice dobré shodě se zjištěnými údaji v obr. 4B, z nichž je zřejmé, že hodnota h_r se mění v intervalu mezních hodnot měrných povrchů v rozmezí $h_r = 0,32$ až $h_r = 0,36 \mu\text{m}$.



Obr. 4. Závislost změny charakteristiky h_r na druhu cementu a měrném povrchu. Symboly v obrázcích jsou stejné jako v obr. 1

Z těchto výsledků lze taky usoudit, že podstatný podíl vody V_1 je vázán ve struktuře novotvarů. Dále výsledky ukazují, že na absolutní hodnotu h_r u vzorků hodnocených na ultracentrifuze má proměnné fázové složení cementů malý vliv. Stanovením množství vody zadržené lisovanými vzorky cementů bylo možno zjistit, že i po dlouhé době nasávání vody vzorkem nedochází k úplnému zaplnění výpočtem stanoveného objemu mezer, jak vyplývá z údajů v tab. V. Tento jev lze vysvětlit jednak tím, že voda rychle smáčí povrch zrn, ale její pronikání do velice jemných kapilár a smáčení jejich stěn je zpomaleno přítomností vzduchu v kapilárách. Je-li kapilára uzavřena, může přetlak vzduchu vznikající stlačováním jeho objemu v důsledku kapilárního sání zpomalit zaplnění kapiláry na dlouhou dobu.

Druhou příčinou může být vznik novotvarů, zejména ettringitu, který má výrazně větší objem než součet objemu složek, jejichž reakcí vznikl. O tento rozdíl objemů pak může být zmenšen výpočtem určený objem mezer.

Při zkoušce na ultracentrifuze je podíl povrchu kapilár a kazů lépe smáčen proto, že voda je vtlačována značnými silami do jemné sítě kapilár a následkem intenzivního rozvrstvení je specificky nejlehčí složka — vzduch vypuzována nejintenzivněji.

ZÁVĚR

1. Množství vody V_1 vázané na povrchu hydratovaných zrn hodnocených cementů do cca 20 minut od smíchání s vodou se málo liší od průměrné hodnoty $0,34 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ povrchu podle Blaina. Tím dochází ke změně parciálního podílu volné vody V_2 v rozmezí $w = 0,085$ (při $S_p = 0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$) až $w = 0,170$ (při $S_p = 0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$).

2. Jak vyplývá z principů jednotlivých metod, vyjadřuje naměřená hodnota zadržené vody u Enslinovy metody i u metody lisovaných tablet celkové množství volné i vázané vody. Přitom podíl vody volné rozhodující měrou závisí na objemu mezer ve vzorku cementu. Působením značné odstředivé síly je ve vzorku hodnoceného odstředěním odstraněn podíl vody, který není ve vzorku vázán, a to na povrchu částic ve struktuře novotvarů, anebo silami kapilárními. Proto naměřené hodnoty touto metodou nejlépe vystihují podíl vody V_1 .

Poděkování

Děkuji prof. Dr. Ing. Šaumanovi, DrSc., za stanovení fázového složení použitých cementů, jakož i za cenné metodické doporučení při zpracování a vyhodnocení výsledků.

LITERATURA

- [1] Šauman Z.: Chemismus výroby autoklávových stavebních hmot. Doktorská disertační práce. VÚSH, Brno 1973.
- [2] Helmuth R. A. Structure and Rheology of Fresh Cement Pastes, in: *7th International Congress on the Chemistry of Cement*. Paris 1980.
- [3] Stork J. Navrhování betonových zmesí. SAV 1965.

ИЗМЕНЕНИЯ ПРОПОРЦИИ СВОБОДНОЙ И СВЯЗАННОЙ ВОДЫ В ЦЕМЕНТНОЙ СУСПЕНЗИИ В ПЕРВОЙ ФАЗЕ ГИДРАТАЦИИ

Тибор Себек

*Научно-исследовательский институт наземных сооружений Прага
рабочее место Готтвальдов, 764 32 Готтвальдов — Лоуки*

После смешивания цемента с водой в результате взаимодействия молекул воды с частицами цемента происходит связывание части воды с твердыми компонентами цементной суспензии.

Оставшееся количество представляет свободную воду, которая решающим способом оказывает влияние на реологические свойства суспензии. Ввиду динамики изменения пропорции свободной и связанной воды в результате гидратации их определение становится весьма затруднительным.

Из результатов измерений с помощью трех методов, служащих для определения количества задержанной воды пробой после 20 минут гидратации, следует, что в случае метода Энслина количество воды зависит именно от последующего объема зазоров между зернами цемента, который устанавливается синергическим действием веса частиц и капиллярных сил при сатурации пробы водой. У метода прессованных таблеток зависимость между объемом зазоров в пробе и количеством задержанной воды прямо про-

порциональна. В объеме зазоров между частицами цементов обоих методов находится именно свободная вода.

При методе центрифугирования под действием центробежной силы происходит с одной стороны уменьшение зазоров, а с другой стороны устранение воды из пробы, так как она не связана на поверхности или в структуре твердых компонентов или капиллярными силами. Поэтому полученные величины с помощью данного метода лучше всего выражают долю связанной воды в цементной суспензии в подобранном отрезке времени гидратации.

Рис. 1. Зависимость изменения абсорбционной характеристики цементов от удельной поверхности, установленной с помощью: А — метода Энслина, В — метода центрифугирования. Символы, обозначающие марку цемента: о — С; ● — Ш; ○ — М; ⊖ — В.В.

Рис. 2. Сечение клеткой после центрифугирования пробы: А — верхняя доля с пробой, В — нижняя доля после отбора фильтрата, 1 — проба, 2 — бронзовое сито с фильтром, 3 — фильтрат.

Рис. 3. Влияние изменения объема зазоров прессованной пробы из цементов S и В на изменение количества задержанной воды.

Рис. 4. Зависимость изменения характеристики h_r от марки цемента и удельной поверхности. Символы на рисунках см. рис. 1.

CHANGES IN THE PROPORTIONS OF FREE AND BOUND WATER IN CEMENT SUSPENSION DURING THE FIRST HYDRATION STAGE

Tibor Sebök

*Building Research Institute Prague, Gottwaldov Branch
764 32 Gottwaldov-Louky*

After water has been mixed with cement, some of the water is bound by the solid components of the cement suspension as a result of interaction of water molecules with cement particles.

The remaining water is the free water which influences decisively the rheological properties of the suspension. In view of the dynamic character of the change in the ratio of free to bound water caused by hydration, the determination of the relative amounts is difficult.

The results of measurements by three methods aimed at establishing the amount of water retained by the sample after 20 minutes of hydration indicate that with Enslin's method the amount of water depends above all on the final volume of gaps between the cement grains which equalizes by the synergic effects of the weight of grains and capillary forces arising by saturation of the sample by water. In the case of the tablet method, the relationship between the volume of gaps in the sample and the amount of retained water is directly proportional. Mostly free water is found in the volume of the gaps between the cement grains with both methods.

With the centrifugation method, the centrifugal forces narrow down the gaps and remove that water which is not bound to the surface or in the structure of the solid components or held by capillary forces. This is why the values established by this method describe best the proportion of water bound in cement suspension at a given time of hydration.

Fig. 1. Change in the sorption characteristics of cements vs. specific surface area determined by: А — Enslin's method, В — the centrifugation method. The symbols designate cement types: о — С, ● — Ш, ○ — М, ⊖ — В.В.

Fig. 2. Sectional view of the sample centrifugation cell: А — top part with sample, В — bottom part for filtrate collection; 1 — sample, 2 — bronze sieve with filter, 3 — filtrate

Fig. 3. The effect of change in gap volume of compressed samples of cements S and В on the change in the amount of retained water.

Fig. 4. Dependence of change in characteristic h_r on cement type and specific surface area. The symbols are the same as in Fig. 1.

ADVANCES IN CERAMICS, VOLUME 12, SCIENCE AND TECHNOLOGY OF ZIRCONIA II (Pokroky v keramice, Svazek 12, Věda a technologie oxidu zirkoničtého II), redakce: Nils Claussen, Manfred Rühle, Arthur H. Heuer. Vydavatel: The American Society, Columbus, Ohio 1984.

Kniha je sborníkem ze Druhé mezinárodní konference Zirconia 83, která se konala ve Stuttgartu 21.—23. června 1983 pro 375 účastníků z 22 zemí. V šesti sekcích zde bylo představeno 118 prací formou sdělení nebo posterů. 75 těchto prací je shromážděno na 842 stránkách sborníku tak, že tvoří šest tematických celků podle sekcí konference. I. sekce byla věnována fázovým přeměnám a stabilitě fází. Zahnuje práce: Fázové přeměny v keramice s obsahem ZrO_2 , kde je pozornost věnována nestabilitě kubické modifikace ZrO_2 (C— ZrO_2) a výsledným reakcím řízeným difúzí, martenzitické přeměny v tetragonálním ZrO_2 a v ZrO_2 stabilizovaném HfO_2 . Rozebrána je teorie dvojitěti a jsou charakterizovány přeměny ZrO_2 . Je ukázáno použití akustické emise k charakterizaci přeměny tetragonálního ZrO_2 na monoklinický. Středem pozornosti je i transformační mechanismus kulových částic ZrO_2 v Al_2O_3 matici, dále fázové vztahy v různých soustavách ZrO_2 , popis sloučenin v soustavě $CaO—ZrO_2$, vlastnosti tetragonální fáze ZrO_2 v soustavě $ZrO_2—Y_2O_3$, fáze $Mg_2Zr_5O_{12}$ a difúzní rozklad C— ZrO_2 v $Mg—PSZ$ ($MgO—Partially Stabilized ZrO_2—ZrO_2$ částečně stabilizovaný oxidem hořečnatým), vlastnosti soustavy $ZrO_2—ZrN$, vzájemné vztahy soudržnosti Al_2O_3 a ZrO_2 v soustavě $ZrO_2—Al_2O_3—SiO_2—CaO$.

Ve II. sekci nazvané Transformační zpevnění a jeho mechanické aspekty byly shromážděny práce pojednávající o: zpevňovacím mechanismu v Zr slitinách, termodynamických předpokladech zvýšení lomové houževnatosti PSZ keramiky, povrchových napětích v kompozitních materiálech $ZrO_2—Al_2O_3$, výpočtech rozdělení napětí v okolí dispergovaných částic ZrO_2 , fázových přeměnách v keramice s obsahem ZrO_2 vyvolaných místním napětím, teorii mechanismu propadu energie v této keramice, šíření mikrotrhlínky v keramickém materiálu zpevněném jejich disperzí a vlivu mikrotrhlínkování na zvýšení lomové houževnatosti materiálu.

Ve III. sekci byl studován vliv transformačního zpevnění na mikrostrukturu materiálů. Jsou zde práce, které přinášejí návrh mikrostruktury keramiky zpevněné ZrO_2 (ZTC— ZrO_2 Toughened Ceramics), dále studie mikrostruktury ZrO_2 stabilizovaného Y_2O_3 (Y—TZP, Y_2O_3 Tetragonal ZrO_2 Polycrystals), vlivu mikrostruktury na pevnost, tepelné a mechanické vlastnosti Y—TZP, fázové stability Y—PSZ ve vodných roztocích, kromě hodnocení mikrostrukturnálních a termodynamických vlastností monokrystalů ZrO_2 je pozornost věnována anomální teplotní roztažnosti Al_2O_3 s přídavkem 15% obj. ($Zr_{0,5}Hf_{0,5}$). O_2 a mikrostrukturu a vlastnostem kompozitních materiálů mullit— ZrO_2 (ZTM), vlivu velikosti částic na teplotu přeměny dispergovaných částic ZrO_2 a vztahům mezi morfologií a strukturou krystalů stabilizovaného ZrO_2 .

Ve IV. sekci byly shromážděny práce o konstrukčních a jiných aplikacích. PSZ keramika je používána na průvlastky v metalurgickém průmyslu, pro extrémně namáhané součásti diesellových motorů (části pístů, vložky válců, vodítka a sedla ventilů apod.) i jako žárovzdorné plasmové nastříkané povlaky, nebo pro spoje v pevné fázi mezi kovem a keramikou. Devět prací v této kapitole podává názornou představu o konstrukčních vlastnostech materiálů na bázi ZrO_2 pro náročné technické použití.

V. sekce byla věnována elektrolytickým vlastnostem a příslušným aplikačním možnostem. Jsou zde práce o defektní struktuře, mikrostrukturu a transportních vlastnostech pevných elektrolytů založených na ZrO_2 , vlivu nečistot na vlastnosti galvanických článků, vlastnostech kyslíkových senzorů ze ZrO_2 i možnostech, které přinášejí vysokoteplotní elektrolytické články ZrO_2 pro výrobu vodíku.

Poslední, VI. sekce byla zaměřena na technologii přípravy. Jsou zde vedle prací o přípravě ZrO_2 keramiky, mokré chemické přípravě prášků ZrO_2 , materiálů Y—TZP z různých výchozích prášků, mikroprášků Ca—TZP získaných hydrotermální metodou, růstu a hrubnutí částic ZrO_2 čistých i dopovaných, přípravě keramiky $Al_2O_3—ZrO_2$ z CV● prášků, přípravě jemných prášků $Al_2O_3—HfO_2$ hydrotermální oxidací apod. Jsou zde uvedeny také práce o slinovatelnosti prášků $ZrO_2—Al_2O_3$, kinetice slinování různé připraveného ZrO_2 , i využití mikroprášků ZrO_2 jako modelu pro studium slinování a o syntéze a slinování vláken ze ZrO_2 .

Kniha jak svým obsahem, tak i rozsahem představuje souhrn současných znalostí ve velmi moderní a aplikačně velmi perspektivní oblasti keramických materiálů na bázi ZrO_2 . V referátech jsou zpravidla zopakovány nezbytné základy a podrobně zdokumentovány nové poznatky. Řada obrázků a grafů usnadňuje jejich pochopení. Jsou zde stručná abstrakta i podrobné citace literatury u každé práce a na závěr knihy autorský a předmětový rejstřík.

Kniha je vhodná pro pracovníky ve výzkumu a vývoji nových keramických materiálů.

V. Hanykýř