

V. Jović  
D. Spasojević  
S. Zarić  
N. Afgan

Institut "Boris Kidrič" - Vinča

### ANALIZA HIDRODINAMIČKOG PONAŠANJA KLJUČAJUĆEG KANALA\*

Hidrodinamičko ponašanje dvofaznog toka, usled svog velikog značaja, dobija sve važnije mesto u istraživačkim programima prenosa toplote i mase. Cilj ovih istraživanja je upoznavanje fizičke suštine pojave, i čisto praktično, predviđanje uslova nastanka nestabilnosti dvofaznog strujanja. Ovaj fenomen ima za posledicu ograničenje zapreminske gustine snage, jer može doći do pregorevanja grejnih površina kao i do neželjenih uslova rada u celom sistemu.

U radu je data analitička formulacija fizičkog modela ključajućeg kanala sa prirodnom cirkulacijom, postupak rešavanja - HIDIM-I, program za digitalnu računsku mašinu ZUSE-Z-23 i rezultati za slučaj ključajućeg reaktorskog kanala. Analitička formulacija zasnovana je na zakonima održanja mase, količine kretanja i energije u uslovima dvofaznog strujanja, dopunjenim poluempirijskim relacijama o klizanju faza i padu pritiska u dvofaznoj struji.

Posle eksperimentalne provere, koja je u toku, model HIDIM-I može se primeniti za analizu uslova rada bilo kog generatora pare.

\*Referat nije štampan zato što su autori znatno prekoračili dozvoljen obim rada.

M. Ristić  
M. Gašić  
S. Radić  
I. Stamenković

Institut "Boris Kidrič" - Vinča

KVANTITATIVNI ODNOSI IZMEDJU OSNOVNIH PARAMETARA SINTEROVANJA  
UO<sub>2</sub> - NUKLEARNOG GORIVA

OSOBINE PRAHA URANIJUM DIOKSIDA

Prah UO<sub>2</sub> korišćen u našem radu, proizveden je poluin-  
dustrijskim postupkom iz ADU u Institutu za tehnologiju nuklear-  
nih sirovina. Kalcinacija ADU vršena je diskontinualnim postupk-  
om na 600 °C, a redukcija dobijenog U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> u rotacionoj peći na  
600 °C u struji krekanog amonijaka.

Razultati kvantitativne spektrohemijske analize praha  
UO<sub>2</sub> pokazuju da je sadržaj nečistoća ispod dozvoljenih granica  
/17/ i niži je nego kod praha koji se koristi u Švedskoj /8/, ta-  
ko da spada u nuklearne čiste materijale.

Izvršena je standardna DTA praha UO<sub>2</sub>. Na osnovu podata-  
ka koje je publikovao A.J. Taylor /9/ može se zaključiti da ovaj  
prah spada u grupu sinterabilnih prahova, s obzirom da je tempe-  
ratura prvog ekstremuma oksidacije našeg praha oko 180 °C. Termo-  
gravimetrijska analiza izvršena je u vazduhu pri brzini zagreva-  
nja od 8 °C/min i na osnovu dobijenog termograma izračunato je  
da atomski odnos O/U iznosi 2,051 ± 0,010.

Odredjivanje specifične površine praha uran dioksida  
obavljeno je na areamtru /10/. Dobijeni rezultati su:

specifična površina 5,20 m<sup>2</sup>/gr  
srednji težinski prečnik 9,58 μm  
stepen rapavosti 219.

Metodom ugljenih replika izvršeno je ispitivanje česti-  
ca praha na elektronskom mikroskopu JEM-7A. Dobijeni mikrosnimci  
pokazuju da je površina čestica vrlo razvijena što je u skladu  
sa rezultatima dobijenim na aremetru. Rezultati rendgenskih is-  
pitivanja su: prečnik kristaliteta 2,2 x 10<sup>5</sup> Å, a parametar unu-  
trašnjeg napreznja rešetke 150 x 10<sup>5</sup>.

PRIPREMA TABLETA UO<sub>2</sub>

U cilju jednovremenog proučavanja uticaja pritiska pre-

sovanja, temperature i vremena sinterovanja na osobine sinterovanog  $UO_2$  izabran je, na osnovu naših ranijih radova /11/, opseg pritisaka  $0,25 - 2 \text{ t/cm}^2$ . Sinterovanje je izvodjeno u temperaturskom intervalu  $1200 - 1600^\circ\text{C}$ , u toku 45-360 minuta. Ovako izabrani uslovi zadovoljavali su i propisane uslove /1, 2, 3/.

#### Presovanje

Prah uranijum-dioksida, uz dodatak 6% destilovane vode, presovan je u čeličnim alatima pod pritiskom od  $0,25 - 2 \text{ t/cm}^2$ . Prečnik ispresaka bio je 15 mm, odnosno L/D u svim slučajevima bio je veći od 1.

#### Sinterovanje

Sinterovanje ispresaka  $UO_2$  vršeno je u molibdenskoj peći "Degussa" u temperaturskom intervalu  $1200-1600^\circ\text{C}$ . Brzina zagrevanja iznosila je  $10^\circ\text{C/min}$ . Željena temperatura održavana je 45, 60, 180 i 360 min. Brzina hladjenja bila je takodje  $10^\circ\text{C/min}$ . Proces sinterovanja praćen je merenjem gustine sinterovanih uzoraka, kao i preko relativnog skupljanja ( $\Delta L/L_0$ ).

### DISKUSIJA REZULTATA

Analiza rezultata dobijenih ispitivanjem sinterovanja  $UO_2$ , pokazuje da gustina sinterovanih uzoraka nije direktno proporcionalna vremenu sinterovanja. Međutim, iz sl. 1 očigledno je da za ispitivani interval temperatura i vremena važi sledeća zavisnost:

$$d_s = m \cdot \ln t + b \quad (1)$$

gde su m i b konstante.

Za sve proučavane temperature, očigledno je da sa povećanjem temperature nagib pravih linija u semilogaritamskom sistemu opada, što je u saglasnosti sa našim teorijskim i eksperimentalnim radom u oblasti sinterovanja oksida /12, 13/. Ovo je uočljivije u slučaju sinterovanja ispresaka dobijenih presovanjem na višim pritiscima. Na sl. 2 prikazana je familija krivih linija koje predstavljaju zavisnost koeficijenta m od pritiska presovanja. Bližom analizom krivih na sl. 2 dolazi se do prave zavisnosti između pritiska presovanja, temperature sinterovanja i gustine sinterovanih uzoraka. Naime, može se pokazati da koeficijent m uopšte zavisi od pritiska presovanja po jednačini:

$$m = k \cdot \ln p + n \quad (2)$$

gde su k i n konstante, koje ne zavise od pritiska, ali koje se menjaju sa temperaturom.

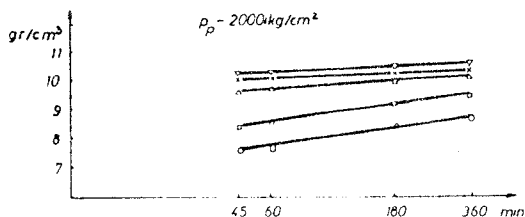
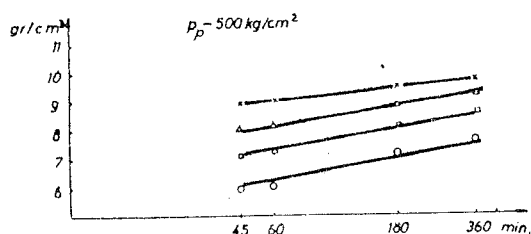
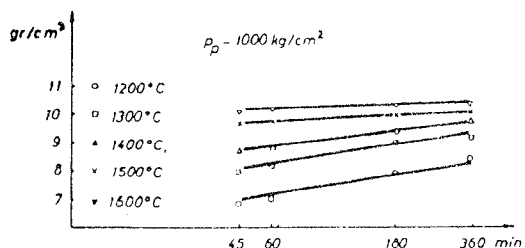
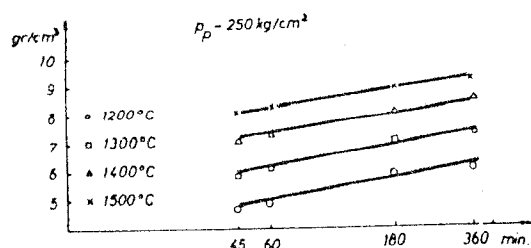
Na sl. 3 prikazana je zavisnost koeficijenta m od temperature. Pošto su ove krive S - oblika, mora postojati maksimum na krivima koje pokazuju prvi izvod funkcije m po temperaturi /sl. 4/. Interesantno je uočiti da u svim slučajevima ovaj maksimum odgovara temperaturi  $1350^\circ\text{C}$ .

Visina maksimuma prvog izvoda funkcije m direktno zavi-

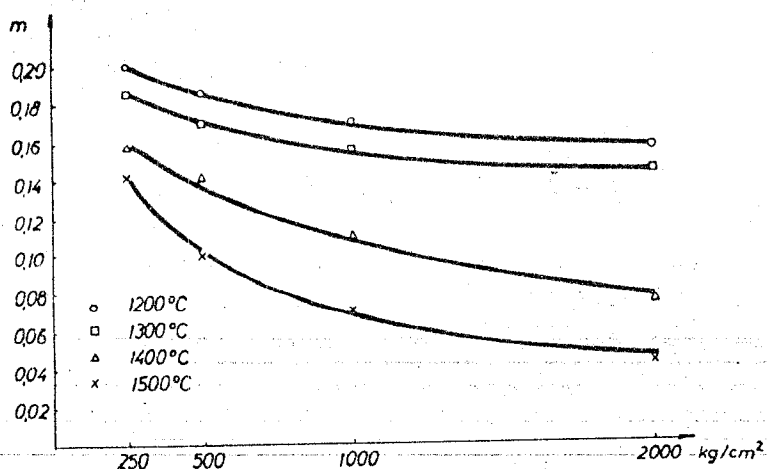
si od pritiska presovanja /sl. 5/ i može se prikazati jednačinom

$$\left( \frac{dm}{dT} \right)_{\max} = a \cdot p + q \quad (3)$$

gde su a i q konstante.



SL. 1



SL. 2

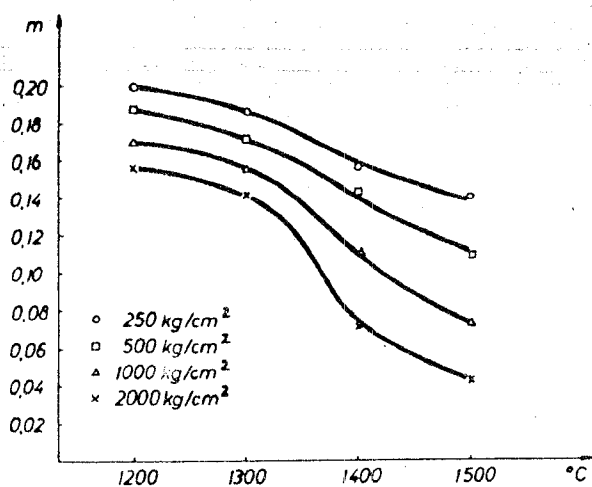
Diferenciranjem jednačine /1/ dobija se da je  $dd/dt$  proporcionalno sa  $1/t$ . Ovo omogućava da se, prema Arrhenius-ovoj jednačini, nadje energija aktivacije procesa. U našem slučaju srednja energija aktivacije sinterovanja iznosi  $79,9 \pm 6,9$  kcal/mol. Iako je ova vrednost vrlo bliska vrednosti energije aktivacije za samodifuziju urana u uranijum dioksidu po A. Auskernu i J. Belle-u /14/ ne bi se smelo jednostrano uzeti da je mehanizam sinterovanja u našim uslovima sa-

modifuzija urana, pošto kod polidisperznih materijala on zavisi od čitavog niza različitih faktora.

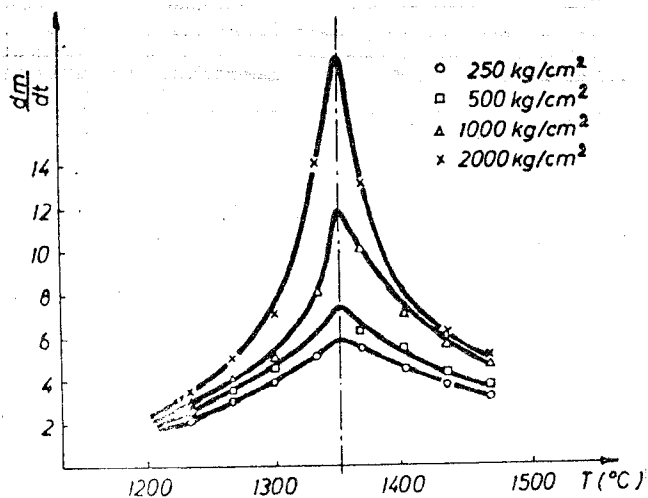
Medjusobna zavisnost promene gustine i promene linearnih dimenzija tokom procesa nezavisna je od temperature i vremena sinterovanja i teorijski bi trebalo da važi sledeća zakonitost:

$$\frac{\Delta V}{V_0} = 1 - \frac{d_i}{d_s} = 1 - \left(1 - \frac{\Delta L}{L_0}\right)^3 \quad (4)$$

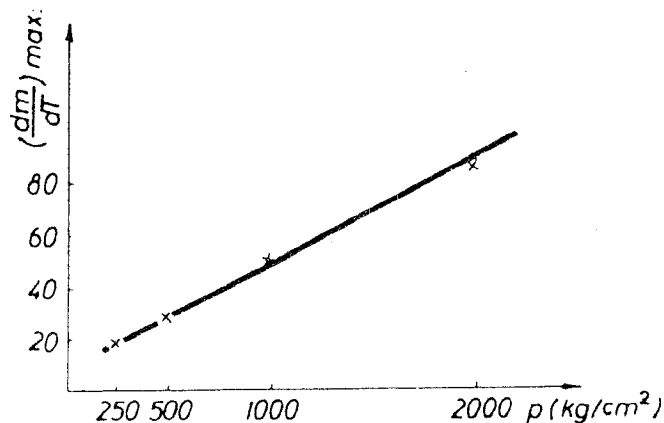
gde su:  $d_i$  - gustina ispreska  
 $d_s$  - gustina sinterovanog uzorka  
 $\Delta L/L_0$  - relativno skupljanje



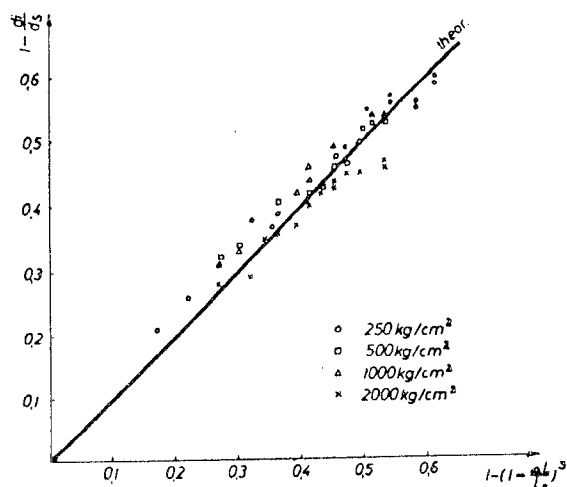
SL. 3



SL. 4

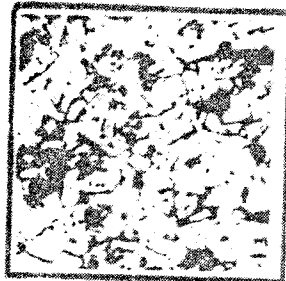
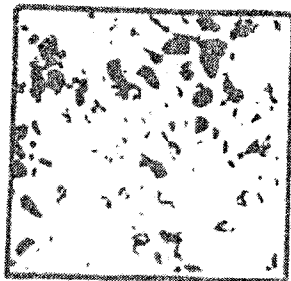


SL. 5

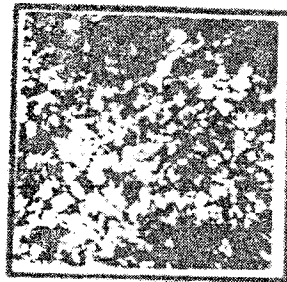
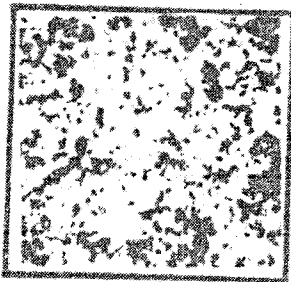


SL. 6

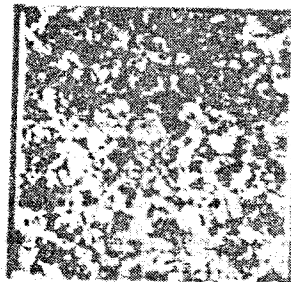
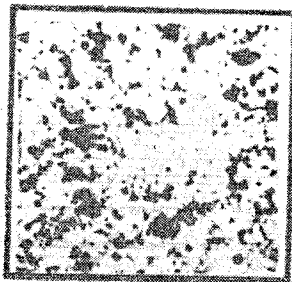
Medjutim, u našim uslovima, za uzorke cilindričnog oblika očigledno je da ova zavisnost, ako se  $\Delta L/L_0$  odnosi na skupljanje prečnika, ne može biti idealno tačna /sl. 6/. Ipak i u ovom slučaju vidi se da korekcija ne zavisi od pritiska presova-



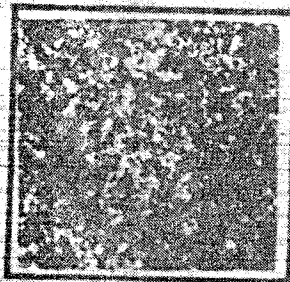
1500°C



1400°C



1300°C



1200°C

polirane površine 700x

hemijski nagrižene površine 700x

SI.7

nja, što bi se inače moglo očekivati.

Na sl. 7 prikazane su, primera radi, mikrostrukture uzoraka presovanih pod pritiskom od  $2 \text{ t/cm}^2$  i sinterovanih na 1200, 1300, 1400 i  $1500^\circ\text{C}$  u toku 3 h. Vreme od 3 h predstavlja srednje vreme sinterovanja. Uticaj vremena sinterovanja najmanje je izražen kod pritiska presovanja kod  $2 \text{ t/cm}^2$ , pa se na ovim uzorcima najbolje može pratiti uticaj temperature na mikrostrukturu sinterovanog uzorka. Mikrostrukture pokazuju lagani porast veličine zrna od 1,5 do 3,0  $\mu$  pri porastu temperature sinterovanja od  $1200 - 1400^\circ\text{C}$  uz konstantnu veličinu pora od 0,5  $\mu$ . Na  $1500^\circ\text{C}$  imamo nešto nagliji porast veličine zrna do ispod 5  $\mu$ , što je svakako posledica koalescencije pora. Vreme sinterovanja za uzorke čiji su mikrosnimci prikazani iznosilo je 3 h. Karakter distribucije pora u svim ovim mikrostrukturama je intragranularan. Ovo je u skladu sa rezultatima B. Francois-a /6/, koji pokazuju da se sinterovanjem  $\text{UO}_2$  u vodoniku do  $1500^\circ\text{C}$  dobija intragranularna raspodela pora, a da se tek sinterovanjem na  $1600^\circ\text{C}$  i više postiže intergranularna raspodela pora. Lokalizacija pora, po ovim autorima, na granicama zrna, odvija se u prvim minutima sinterovanja i dovodi do prestanka densifikacije. Intergranularna raspodela pora stabilna je u širokom dijapazonu vremena i temperature.

#### ZAKLJUČAK

Proučavano je sinterovanje  $\text{UO}_2$  u vodoniku u temperaturnom intervalu  $1200 - 1600^\circ\text{C}$  u cilju nalaženja odnosa između osnovnih parametara koji karakterišu proces.

Analizirana je međusobna zavisnost između pritiska presovanja, temperature sinterovanja u intervalu  $1200 - 1500^\circ\text{C}$  i gustine sinterovanih uzoraka, pa su izvedene i neke osnovne relacije koje karakterišu ovu zavisnost. Uzorci dobijeni presovanjem pod pritiskom od 1 i  $2 \text{ t/cm}^2$  i sinterovanjem na  $1600^\circ\text{C}$  uglavnom se pokoravaju ovim zakonitostima.

Za uzorke cilindričnog oblika ne može se bez korekcije koristiti teorijska jednačina koja karakteriše međusobnu zavisnost gustine i linearnog skupljanja.

Mikrostrukturna istraživanja pružila su podatke o karakteru raspodele pora i densifikacije. Intergranularna poroznost postiže se tek iznad  $1500^\circ\text{C}$ .

Srednja energija aktivacije procesa za proučavani interval iznosi  $79,9 \pm 6,9 \text{ kcal/mol}$ .

#### LITERATURA

1. SKNE, Specifikacija GEK-1 i GEK-2 /1964/.
2. Asea Specification KAD 66-19 /1966/.
3. AECL specifications MBT-61 /1961/.
4. R. Winchell, YAEC-159 /1960/.
5. R.E. Cosan, WAPD-TM-73 /1957/.

6. B. Francois et al. Journ. Nucl. Mat., 15, 105-110 /1965/.
7. P. Ram et al. Journ. Less. Common. Met., 10, 185-189 /1966/.
8. B. Živanović et al., AB-Report 1034 /1966/
9. A.F. Teylor, TID-7673 /1961/.
10. R. Haul und G. dūmbgen, Chem. Ind. Techn. 32, 349 /1960/.
11. V. Mikijelj, S. Radić i M.M. Ristić, IBK-263 /1965/.
12. M.M. Ristić and N. Afgan, Bull. Boris Kidrič Inst. Nucl. Sci, 16, 267-269 /1965/.
13. S.M. Jovanović and M.M. Ristić, Proc. II Int. Conf. Powd. Met., Vol. I, 1966, S. Smokovec.
14. F. Belle and B. Lustman, WAPD-184 /1957/.