

UDK 621.923.1

Л.Танови~, доктор наук, проф.**Р.Пузови~, доктор наук****М.Попови~, кандидат наук***Ma[ino]stroitel'nxw] fakul'tet Belgradskogo Universiteta,
g. Belgrad, Serbi]***М.Шливанчин, кандидат наук***Фирма ">nergomermerinvest", g. Belgrad, Serbi]***ISSLEDOVANI; PROCESSA OBRABOTKI KAMN}**

V dannoj rabote pokazan osmotr samwx primen]emwx tehnologij obrabotki mramora i granita s to~ki zrenij] processov, obrazovav[ihs] me`du instrumentom i zagotovkoj (obratovvayej detalxy).

Tak kak ne su]estvuet mnogo literaturnwx isto~nikov ob interakcii me`du abrazivnym zernom i kamnem, nevozmo`no obsu`denie processov [lifovani] i polirovki bez ih polnogo po]sneni].

Po<tomu analiz processa mikrorezani] mramora i granita dl] sozdani] zavisimosti izmenenij silw rezani] v funkcii <lementa re`ima rezani], a ta`ke i mehanizma obrazovani] stru`ki, dol`en vnesti svoj vklad v razvitii teorii okon~atel'noj obrabotki vwxkazannwx materialov.

Vvedenie . Razru[enie mramora i granita являється хрупким разрушением, то estx razru[enie kristalli~eskix faz osu]estvl]jets] razdeleniem po otdel'nxwm kristallografi~eskim napravlenij]m. V <tih materialah imeyts] tre`inw Griffitca, umenx[ay]ie pro~nostx v sravnenii s teoreti~eskoj. Predel pro~nosti hрупкого tela zavisit ot vero]tnosti naho`denij] v nem tre`in, которые могут razru[at]s] pri opredelennoj nagruzke. U bolx[instva mramorov i granitov rolx mikrostrukturw проявляе] в основном на степени их poristosti, potomu ~to prisutstvuy]ie porw umenx[ayt poverhnostx popere~nogo razreza stpu`ki i]vl]yts] koncentraciej napr]enij].

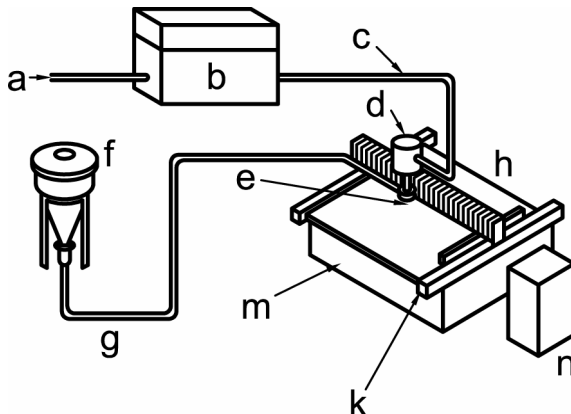
Specifi~nostx tehnologii obrabotki trebuet horo[ero znanija vseh harakteristik <tih materialov, na~av s stuktural'no-teksturnwx (nepervvnostx, gomogennostx-odnorodnostx, izotropnostx), zatem fiziko-mehani~eskix (udel'nxwj ves, poristostx, vla`nostx, vodopronicaemostx, tverdostx, pro~nostx, abrazivnostx) do mineral'no-petrografi~eskix (razmer zerna, vid i soder`anie komponentov kraski i pr.).

Na dannom <tape razviti] tehniki razru[enij] kamn] чаще всего используются mehani~eskie, nekonvencional'nxwe i kombinirovannwe metodw obrabotki.

Nekonvencionalnwe metody obrabotki podrazumevayt poda~u sootvetsrvuy\ego vida <nergii v zonu obrabotki (mehani~eskoj, teplovoj), kotorwj obleg~aet process obrabotki. Naibolee interesnwmi me~du nekonvencionalnwmimi metodami s~itayts]: ulxtrazvukova] obrabotka, obrabotka suspenziej, obrabotka plazmoj i dr. Primenenie <tih metodov obrabotki ne ograni~eno pro~nostxy i tverdostxy kamn] i po<tomu v budu\em o`idaets] ih [irokoe ispolxzovanie.

Mehani~eskie metodw obrabotki kamn] razdel]yts] po instrumentam, kotorwe moguť s opredelennoj i neopredelennoj geometriej re~u\ej ~asti ([lifovanie, polirovka), pri~em instrument bwvaet v kontakte s kamnem pri opredelennom davlenii, zavisimom ot harakteristik kamn], a tak`e i ot ma[inw, na kotoroj vwpoln]ets] obrabotka.

Obrabotka kamn] gidrozaniem abrazivnoj suspenziej. ЭТОТ процесс отоситс] к операции резани] метали~еских и неметали~еских материалов, ~то есть в су\ности процессом <розии, u которого активnwм sredstvom]vl]ets] voda wvsokogo davleni] s dobavkami ili bez примесей абразивного материала. При резании материалов менx[ej i srednej tverdosti, a tak`e i материалов, которwe tonx[e, ispolxzuets] voda, a dl] материалов, которwe tver`e, ispolxzuets] dopolnitelxnwj абразивnwj материал, ~a\е vsego mineral – гранат, hot] inogda ispolxzovals] i корунд, i карборунд. Ustanovka dl] gidrozeani] абразивnoj suspenziej sostavlena iz sistemw dl] filxtracii, akumul]tora, preobrazovatel] teplotw, usilitelxnogo nasosa ulxtrawvsokogo davleni], raspwlitel], rezervuara s абразивом i rezervuara dl] stru`ki (ris. 1) Š6E.

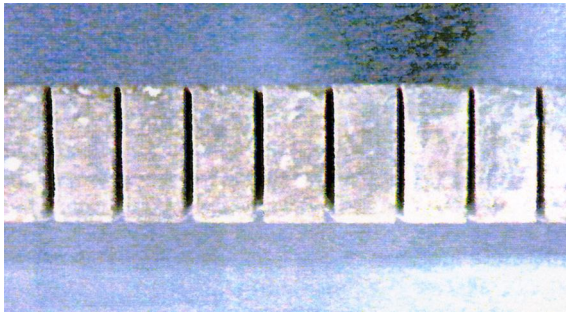


Ris. 1. Ustanovka dl] rezani] vod]noj struej: a – poda~a vodw; b – nasos wvsokogo davleni]; s – poda~a; d – re`u\aj golovka; e – raspwlitel]; f – dozator abrazivov; g – poda~a abrazivov;

*h – rabo~ij stol; k – napravlj]y]ie stola; m – kamera s filxtrami;
n – upravlj]ema] edinica*

Filxtracij vwpoln]ets] na treh urovn]h: mehani~eskie filxtrw vwdel]yt lyboe tverdoe soder`anie, molekul]rnwmi filxtrami vwdel]yts] grubwe mineralxnwe primesi i aktivnwmi himi~eskimi filxtrami ustran]ets] agresivnoe himi~eskoe soder`anie. Posle filxtracii davlenie podnimaets] do okolo 5–6 MPa, a potom usilitelxnwj nasos ulxtravwsokogo davleni] podnimaet urovenx davleni] vodw na 400–500 MPa. Poda~a vod]noj (abrazivnoj) suspenzii napravlj]ets] ~erez raspwlitelx diametrom 0,1–0,6 mm so skorostxy do 912 m/s, v rezul]tute čogo obrazuets] umenx[ennoe <rozijnoe dejstv]ie. Raspwlitelx vwpoln]ets] iz sapfira.

Vwpolnenie <ksp]erimentov.> ksp]erimentalxnwe issledovani] processa gidrorezani] abrazivnoj suspenziiej vwpoln]lisx na mramore - “Perlato” (99 % SaSO_3), fiziko-mehani~eskie svojstva kotorogo pokazanw v tabl. 1. Vwpolneno vsego 108 <ksp]erimentov rezki mramora, tol]inoj 20 mm, po~etomu pri ka`dom re`ime rezki <ksp]eriment povtor]is] tri raza (ris. 2).



Ris. 2. Pokaz razrezov na mramore “Perlato”

Tabl]uca 1

Fiziko-mehani~eskie svojstva mramora

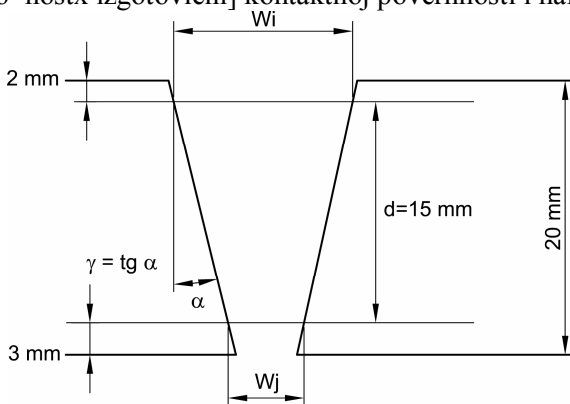
Fiziko-mehani~eskie svojstva materiala	PERLATO
Plotnostx (kg/m ³)	2.705
Vodopoglo]enie (%)	0,06
Pro~nostx na davlenie (MPa)	131
Pro~nostx na davlenie posle zamerzani] (MPa)	126

Modulx uprugosti Ynga	75000
Прочностx на izgib (MPa)	16,9
Прочностx на izna[ivanie	0,52
Прочностx на udar (cm)	61
Tverdostx po Кнурпу (MPa)	1463

>lementami re`ima rezki vod[noj struej]vl]yts]:

- davlenie vodw – 250, 300, 350 MPa;
- potok abraziva “granat” – 200, 300, 400, 500 g/min.;
- skorostx poda~i detali pri rezke – 150, 250, 300 mm/min.

V ka~estve vvhodnhw parametrov processa rezki mramora rassmatrivalisx: profilx paza, koni~nostx (naklon) poverhnosti i rovnostx kromki. Profilx paza predstav]et “W” (ris. 3), na ktorom izmer]ets] [irina na glubine 2 i 17 mm ot verhnej poverhnosti i opredel]et to~nostx izgotovleni] kontaktnoj poverhnosti i naklon.



Ris. 3. Harakteristiki razreznogo “W” profil] paza

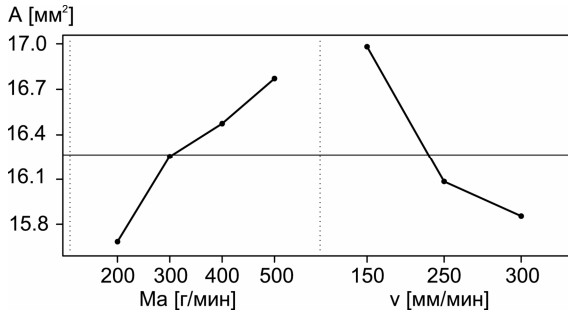
Kontaktna] poverhnostx opredel]ets] po obrazcu:

$$A = \frac{W_i + W_j}{2} \cdot d \quad \text{tg} \alpha = \frac{W_i - W_j}{2d} .$$

Na to~nostx obrabotki i ka~estvo obrabotanoj poverhnosti vwrezanno] ~asti bolx]oe vli]nie imeyt davlenie vodw, potok abrazivov i skorostx poda~i detali (rezki).

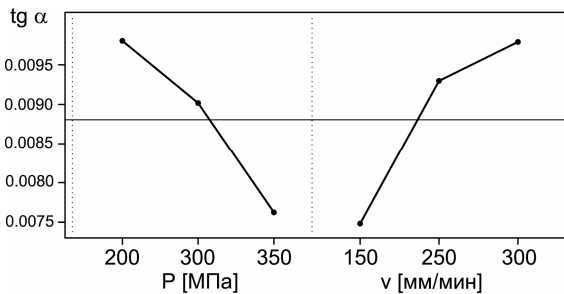
Na ris. 4 pokazanw rezulxtatw izmeneni] kontaktnoj poverhnosti, polu~ennoj pri rezke kamn] “Perlato” v funkcii potoka abrazivov i skorostx rezki. Obrazovanna] kontaktna] poverhnostx bwvaet v predele 15–17 mm²,

при збільшенні потоку абразивів вона росте як наслідок більшого ударного впливу абразивних частинок. Збільшення швидкості переміщення факторів приводить до зменшення контактної поверхності, що обумовлено зменшенням часу контакту (зменшенням кількістю абразивів) з фактором.



Ris. 4. *Izmenenie poverhnosti razreznogo paza A v funkcii potoka abrazivov (Ma) i shkorosti poda-i (v)*

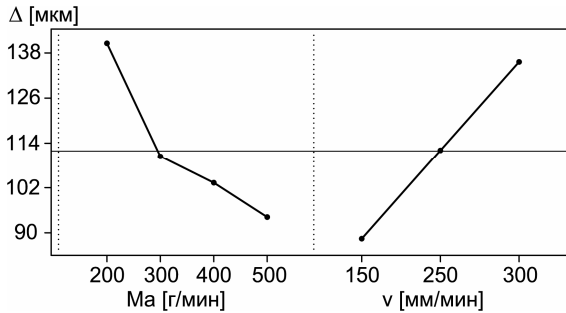
На основанні вимірювань знаходимо, для даних умов випробувань, нахил контактної поверхності становить 25–40 минут (рис. 5). Збільшення тиску до 250–350 МПа (40 %) пропорційно зменшує нахил внаслідок більшого ударного впливу абразивів. Збільшення швидкості різки нахил збільшується.



Ris. 5. *Izmenenie naklona kontaktnej poverhnosti (tgα) v funkcii davlenij abrazivnoj suspenzii (P) i shkorosti poda-i (V)*

На рис. 6 показані зміни прямолинійності кромки контактної поверхності, вимірюваної на відстані 1 мм від верхньої і нижньої поверхностей, в функції потоку абразивів і швидкості різки. Вимірювання

pokazvuyat, ~to c uveli~eniem potoka abrazivov sluchshается прямолинейность, а с увели~ением скорости резки она umenx[aets], ~to obq[sn]ets] mehanizmom processa vzaимодeйствия в системе kamenx – абразив – re`im резки.



Ris. 6. Zmьnenie rovnosti razreza Δ v funkcii (Ma) i (V)

To~nostx vida i razmerov detalej, polu~ennwh rezkoj vod]noj струеj, dostigaets] na urovne 0,06–2,5 mm, a [erohovatostx abrazivnoj poverhnosti – 65–100 mkm. Obrabotanna] poverhnostx – matova], ne imeyts] teplovwe deformacii, tem samwm net ni izmeneni] strukturw, net pwli, a stru`ka bwvaet v tverdom sostojnii, sme[anna] s vodoj i abrazivnwmi zernami (granitom). Otricatel'noj storonoy mo`no s~itatx po]vlenie bolx[ogo [uma, sostavl]y]ego 80 db, i mramor poglo\`aet vodu i vla`nostx.

Obrabotka kamn] rezaniem. Pri proniknovenii re`u]ego klina instrumenta v kamenx, pri dejstvii mehani~eskoj silw, перед verhom instrumenta obrazuyts] napr]eni] i deformacii, vsledstvie kotorwh voznikaet ego razru[enie i obrazovanie stru`ki. Na vwbor re`ima rezani] vli]et kamenx so svoimi fiziko-mehani~eskimi harakteristikami, a tak`e i vid, i forma re`u]ej kromki (rezca) instrumenta. Dl] obrabotki m]gkih i srednetverdwh vidov kamn] ispolxzuys] instrumentw opredelennoj geometrii, vwpolnenw iz tverdogo metalla, a dl] obrabotki bolee tverdogo kamn] ispolxzuys] instrumentw iz polikristalli~eskogo iskusstvennogo almaza neopredelennoj geometrii.

Zame~aets], ~to glubina proniknoveni] re`u]ej kromki (rezca) v kamenx sv]zana i s uglom re`u]ego klina (β), s tem, ~to <tot ugol ne bwvaet menee 45°, iz-za vozmo`nosti ego vwkro[ivani] i izloma na протяжении <kspluatacii. ^em ugol β bolx[e, tem bolx[e proniknovenie instrumenta i proporcional'no menx[e skorostx rezani]. Dl] obrabotki kamn] bolx[ej abrazivnosti ne rekomenduets] tverdwj metall, iz-za vozmo`nosti ego uskorennoogo izna[ivani].

Re`u`a] sposobnostx almaznogo zerna v processe dejstvi] na obrabatyvaj kamenn – mramor i granit pre`de vsego opredel]ets] ego fiziko-mehani~eskimi svojstvami, geometri~eskimi parametrami, uslovi]mi i pro~nostxy ego ukrepleni] v sv]zke, a tak`e i kinemati~eskimi teplodinami~eskimi uslovi]mi, v ktorwh osu`estvl]ets] rabota zerna. Harakteristiki pro~nosti zerna, protivopostavlenie dejstviy sil i temperaturnomu dejstviy obuslovlivayt zna~itelxne raznicw v re`u`ih sposobnost]h instrumenta.

Geometri~eska] forma zerna – slo`na] i prakti~eski neopredelena. Dlj analiza rabotw takim zernam <kspertmentalxno opredel]yts] razmerw, forma i geometri] s celyu zamenw v okon~atelxnom ras~ete takih neopredelennwh zeren zernami <kvivalentnoj formw. Forma almaznwh zeren opredel]ets] posredstvom ko<fficienta formw – otno[eniem [irinw i dlinw zerna.

>kspertmentalxne dannwe, polu~ennwe pri mikrorezanii. Almaznoe zerno koni~eskoj formw, ugla verha 120° ustanovleno i `estko prikrepleno na alyuminienvj disk diametra 150 mm, ktorwj potom stati~eski i dinami~eski cbalansirovan. Na rabo~em stole specialxnoj ma[linw NMS 500 ustanovlen dinamometr, obrazcw iz mramora i granita. >to ustrojstvo obespe~ivaet povora~ivanie obrazca pod naklon, v otno[enii na aksialxnwj sdvig re`u`ego zerna [agom ($S = 5 \text{ m/min}$), ~em osu`estvl]ets] rezanie s izmen]emoj glubinoj.

Process mikrorezani] vwpolnen na granite “Bukovik” i mramore “Ток плавления” s fiziko-mehani~eskimi svojstvami, pokazannwmi v tabl. 2.

Pri vwpolnenii <kspertimenta ispolxzovano sleduy`ee izmeritelxnoe oborudovanie: dvuhkomponentnwj dinamometr Kistler 5007, akvizicionna] karto~ka 10 V 105 kHz, komp`yter, lazernwj mikroskop LSM 510.

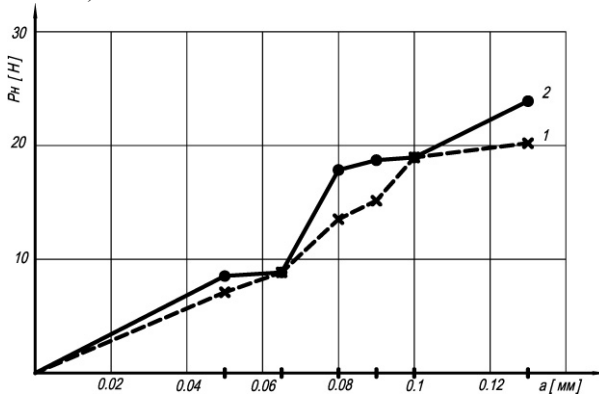
Таблица 2

Fiziko-mehani~eskie svojstva granita i mramora

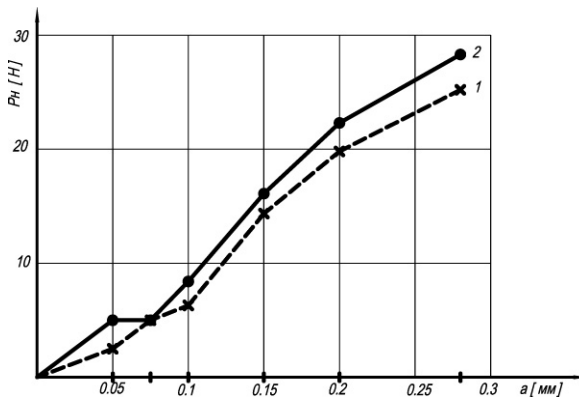
Fiziko-mehani~eskie svojstva materiala	Granit “Bukovik”	Mramor “Ток плавления”
Plotnostx (kg/m^3)	2650	2700
Vodopoglo`enie (%)	0,59	0,6
Pro~nostx na davlenie (МПа)	187,7	80
Pro~nostx na davlenie posle zamerzani] (МПа)	140,7	103
Прочностx na izgib (МПа)	14,67	8,24
Прочностx na izna[ivanie	23,5	22,7
Прочностx na udar (sm)	6,33	23,0

Tverdostx po Кнупу (МПа)	3900	3100
--------------------------	------	------

Na ris. 7 i 8 pokazanw diagrammw izmeneni] normalxnoj komponentw silw rezani] v funkcii glubinw proniknoveni] almaznogo zerna dl] dwuh skorostej rezani] ($1 - v_{kp} = 7.85 \text{ m/c}$, $2 - v_{kp} = 11.1 \text{ m/c}$).



Ris. 7. Diagramma izmeneni] silw R_N v funkcii glubinw rezani] (a) pri mikrorezanii granita "Bukovik"



Ris. 8. Diagramma izmeneni] silw R_N v funkcii glubinw rezani] (a) pri mikrorezanii grafitora (Ток плавления)

Analiziru] sledw rezani] na obrabotwvaemom kamne, zame~eno, ~to pri o~enx malenxkih glubinah proniknoveni] do 0,05 mm vznikayt

radialnwe tre\inw i oni bwvayt menee vwrazitelxnw u granita, ~em u mramora.

Predelxna] glubina pronikoveni], pri kotoroj proishodit hrupkoe razru[enie, bolx[oe vwkro[ivanie vdolx sleda zerna, u granita sostavl]et 0,018 mm, a u mramora – 0,356 mm. S uveli~eniem skorosti rezani] uveli~ivaets] sila pronikoveni], kotora] почти в три raza bolx[e pri obrabotke granita, v sravnenii s mramorom pri odinakovwh ostalxnh uslovi]h.

Vvvod. Gruboe i tonkoe [lifovanie kamn] principialxno otl~aets] v primenenii abrazivov i pri <tom neobhodimo u~itwvatx, obrabatwvaets] li tverdwj kamenx ili m]gkij. V <tom smwsle otl~aets] krugi po sostavy, sv]zke i forme. Zadaniem grubogo [lifovani]]vl]ets] ustranenie sledov, voznik[ih pri rezanii, a tak`e osu\estvlenie to~nosti razmerov i form.

Vw[eukazannwe issledovani] vwpoln]yts] dl] opredeleni] sil, voznikay[ih pri rezanii, ~tobw opredelilosx neobhodimoe optimalxnoe davlenie na instrument v te~enie [lifovani] i polirovki s odnoj storonw, to estx, ~tobw opredelilasx predelxna] glubina pronikoveni] zerna, pri kotoroj voznikayt sootvetsrvuy`ie tre\inw.

LITERATURA:

1. Bates R.L., Industrial Minerals and Rock, Editor Stanley Lefond, New York, 1994.
2. Chen X., Rowe W.B., Analysis and simulations of the grinding process part 1 generation of the grinding wheel surface, Int. Journal of Maschine Tools and Manufacture, vol. 36.,N.8 (2002) pp. 871–882.
3. Hashish M., A model for abrasive-materjet machining, Proc. of the Jetting Technology Sardinia, Italy, pp. 691–707. 1989
4. Siores E. Enhancing Abrasive Waterjet Cutting of Ceramics by Head Oscillation Techniques, CIRP
5. Tanović L., Rezna keramika – osobine, dobijanje i obrada brušenjem, Mašinski fakultet, Beograd, 1992.
6. Tanović L., Šljivančanin M., Osobnosti processa rezani] kamn] na osnove mramora, Vestnik NTUU, vol. 48, (2006). – S. 109–113.
7. Zeng, J., Tam H.Y., An investigation of material removal in polishing within fixed abrasives pocendings of inecheme, Journal of Engineerin Manufacture, Vol. 216 (2002) pp. 103–112.

ТАНОВИЧ Любодраг – доктор наук, профессор машиностроительного факультета Белградского университета, г. Белград, Сербия.

Научные интересы:

– технология машиностроения.

ПУЗОВИЧ Р. – кандидат наук машиностроительного факультета Белградского университета, г. Белград, Сербия.

Научные интересы:

– технология машиностроения.

ШЛИВАНЧАНИН Миливой – кандидат наук, инженер фирмы «Энергомермеринвест», г. Белград, Сербия.

Научные интересы:

– технология машиностроения.

Подано 21.08.2007

УДК 621.923.1

Л.Танович, доктор наук, проф.

Р.Пузович, доктор наук

М.Попович, кандидат наук

*Машиностроительный факультет Белградского университета, г.
Белград, Сербия*

М.Шливанчанин, кандидат наук

Фирма «Энергомермеринвест», г. Белград, Сербия

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ КАМНЯ