

ДОКУМЕНТАЦИЈА ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

„УРЕЂАЈ ЗА ОСТВАРИВАЊЕ ЕКСТРЕМНО ВИСОКИХ ПРИТИСАКА“

Аутори техничког решења

- *Др Бранко Тадић, редовни професор Машинског факултета у Крагујевцу,*
- *др Ненад Марјановић, редовни професор Машинског факултета у Крагујевцу,*
- *мр Ђорђе Вукелић, асистент Факултета техничких наука у Новом Саду и*
- *др Слободанка Галовић, виши научни сарадник института Винча*

Наручилац техничког решења

- Лабораторија за обраду метала резањем, Машинског факултета у Крагујевцу

Корисник техничког решења

- „Лабораторија за обраду метала резањем, Машинског факултета у Крагујевцу

Година када је техничко решење урађено

- 2007.

Област технике на коју се техничко решење односи

- Машинство

1. Опис проблема који се решава техничким решењем

У природи се јављају знатно већи притисци него што човек, још увек, успева да их оствари. На пример, притисци за које се верује да постоје у центру белих патуљастих звезда су реда величине 10^{11} GPa, а највећи притисак који сада човек може да постигне креће се око 20 GPa. Треба напоменути да у нашем делу свемира притисак у центру Сунца износи 10^7 GPa, док је притисак у центру Земље реда величине 100 GPa. До недавно су притисци познати човеку били способни да изазову само мале промене на материји. Померање горње границе контролисаног притиска задњих педесетак година предмет је интересовања великог броја истраживача.

Екстремно високи притисци имају велику практичну примену при добијању синтетичког дијаманта. Примена уређаја екстремно високог притиска разматрана је у литературним наводима [1], [2], [5], [6], [7], [8], [9].

Уређаји екстремно високих притисака остварују нивое притисака који превазилазе конвенционалне границе издржљивости материјала. На пример, дозвољени напон притиска за тврде метале креће се око 6 GPa. Међутим, конвенционалне границе издржљивости материјала одређене су за једноосно напонско стање, па је очигледно да се у функцији напонског стања мења и граница издржљивости материјала.

2. Стање решености проблема у свету – приказ и анализа постојећих решења

На принципима повољне расподеле напонског и деформационог стања материјала у свету је развијен читав низ конструкција уређаја екстремно високог притиска који раде на принципу:

- зарубљене купе,
- Бридгманових наковања,
- уређаја са степеним клипом,
- појасне апаратуре,
- кубне-DIA наковањске апаратуре, итд.

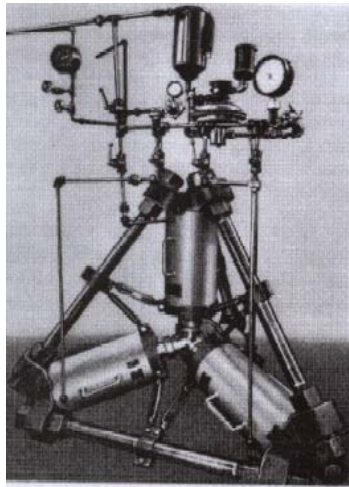
Прегледом литературних извора може се закључити да су истраживања у области екстремно високих притисака у свету врло присутна, почевши од педесетих година прошлог века па све до сада. На нашим просторима, према сазнањима аутора, испитивања ове врсте нису вршена. Анализом великог броја реализованих уређаја екстремно високог притиска може се закључити да су проблеми великим делом машинске природе. Наиме, разлози великог броја реализованих неуспелих решења били су, са концептуалног, теоријског или технолошког аспекта очигледни. Такође, и велики број успешно реализованих решења, по многим аспектима подложен је критици. Све то је представљало изазов ауторима да се упусте у предметну проблематику и према својим могућностима реализују један од уређаја екстремно високих притисака.

Може се закључити, да се управо због великих проблема садржаних у комплексности проблематике, екстремно високи притисци веома тешко остварују. У прилог тврдњи иде и чињеница да је велики број реализованих уређаја годинама усавршаван по многим аспектима.

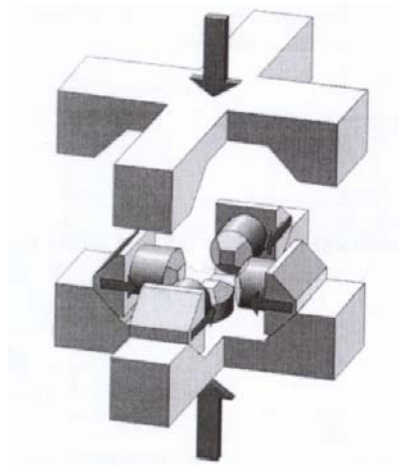
Мада, ако се узме у обзир да истраживања у овој области трају тек педесетак година, онда је очигледно да је постигнут велики напредак.

На слици 1 приказана је тетраедарски уређај високог притиска, док је на слици 2 приказан принцип рада савремене кубне DIA пресе [6], [9].

Применом савремене DIA пресе може се извршити сабијање узорка радног медијума (графита) запремина до 2 mm^3 на притиске од 15 GPa.



Слика 1. Тетраедарски уређај високог притиска

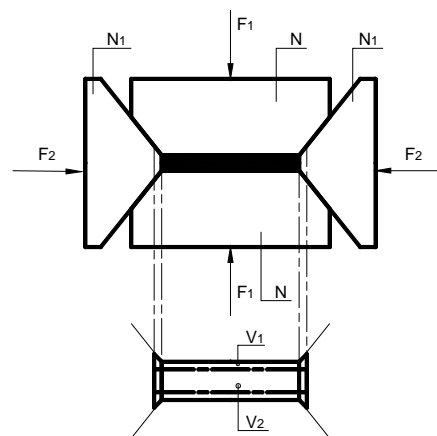


Слика 2. Принциуска шема савремена DIA пресе (алата)

3. Суштина техничког решења

Теоријски принципи на којима је заснована већина развијених уређаја могу се, већим делом, сагледати преко шеме дате на слици 3.

Дејством сила F_1 и F_2 у одређеном односу могуће је остварити врло високе притиске. Екстремно високи притисци се остварују дејством силе F_1 на покретне зарубљене елементе N . На зарубљеним елементима N_1 уређаја делује се силом F_2 која је знатно мања од силе F_1 . Због одређених геометријских односа почетна запремина V_1 већа је од запремине V_2 . Принцип је заснован на чињеници да је бочни притисак који делује на чеоним површинама зарубљених елемената N_1 знатно мањи од притиска који делује на чеоним површинама елемената N (на пример, у случају третирања графита Поасонов коефицијент је $\nu \approx 0,22$). С обзиром на шему оптерећења може се закључити да у зонама највећих напрезања преовлађује стање свестраног притиска. То се може доказати прорачуном по методи коначних елемената, што је при анализи напонског стања уређаја екстремно високих притисака редовна процедура. У стању свестраног притиска материјал може пренети



Слика 3. Шематски принцип уређаја високог притиска (*Blackhawk special*)

притиске који знатно превазилазе конвенционалну границу издржљивости материјала при једноосном напрезању. Међутим, реализација уређаја екстремно високих притисака захтева решење низа осталих проблема.

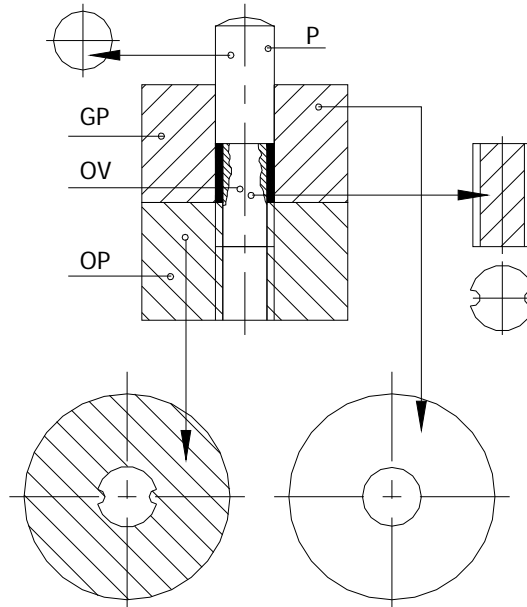
На основу скице дате на слици 3, у теоријском разматрању се претпоставља да су нормални притисци између покретних елемената уређаја равномерно расподељени. То, у реалности, представља веома велики проблем. У питању је контакт веома тврдих материјала (тврди метали, алатна керамика) чија је граница издужења веома мала, па се, врло често, уређаји засновани на овом принципу израђују са посебним системом заптивања. Проблем представља и задржавање одговарајућег односа између сила F_1 и F_2 . На величину односа ових сила утиче и вредност коефицијента трења између покретних елемената уређаја (делови N , N_1 и остали делови). Познато је да се величина коефицијента трења мења у зависности од величине притиска, нарочито при високим вредностима притиска, па је са тим у вези и отежано управљање, и уопште познавање односа сила F_1 и F_2 . Због преноса силе на основу веће површине, и захтева за обезбеђењем великих сила проблем представља третирање већих запремина радног медијума. Код свих развијених уређаја запремина радног медијума који се може сабити на велике вредности притиска је ограничена на вредности величине неколико кубних милиметара.

4. Детаљан опис техничког решења (укључујући и пратеће илустрације и техничке цртеже)

Конструкција уређаја екстремно високих притисака може се на нивоу идејног решења представити шемом на слици 4. Карактеристике је мали број елемената склопа основног алата и компактна конструкција повољног напонског и деформационог стања. Основни елементи склопа су следећи:

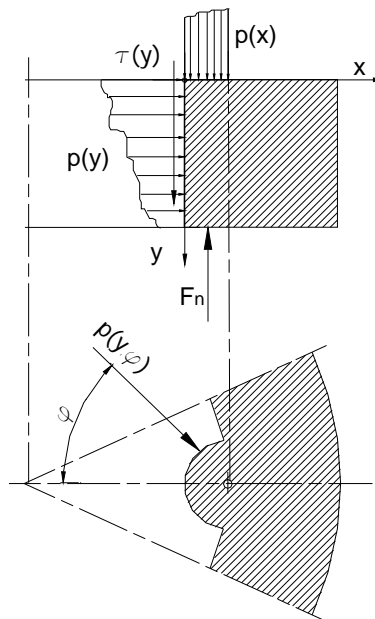
1. Основни ожљебљени прстен (OP),
2. Горњи прстен (GP),
3. Ожљебљена вођица (OV),
4. Потискивач (P).

Са потискивача, релативно велике површине попречног пресека сила се преноси на много пута мању површину попречног пресека радног медијума (угљеник стања sp^2). Потискивач (P) потискује ожљебљену вођицу која клизи уз минималне зазоре по профилу ожљебљеног прстена (OP). Вођица (OV) и основни прстен (OP) ожљебљени су обострано, тако да су бочни притисци, уз претпоставку равномерног пуњења оба канала, уравнотежени. Комплетан прорачун свих елемената конструкције изведен је по методи коначних елемената и конструкција димензионисана за ниво притиска реда величине од 10 ГПа. Треба нагласити да се методом коначних елемената у случају анализе ове конструкције не могу прецизно дефинисати гранични услови и реално стање напона, померања и деформација. Граничне услове и реално стање напона и померања, великим делом дефинишу остварене толеранције и грешке израде појединих елемената. Са тим у вези, тачност прорачуна треба схватити у оријентационом смислу. Овом приликом се неће излагати сви детаљи везани за прорачун елемената конструкције већ се излаже само део претпоставки које су биле садржане у оквиру идејног решења, а везане су за могуће стање напона и померања.



Слика 4. Шематски приказ уређаја (основног алата) екстремно високог притиска

Напонско стање на основном ожљебљеном прстену може се анализирати на основу шеме дате на слици 5. На слици је приказан сегмент ожљебљене чауре који је, са аспекта напона и деформација најкритичнији.



Слика 5. Напонско стање основног ожљебљеног прстена

Радни медијум при дејству силе на потискивач P делује притиском $p(x)$ на чеону површину ожљебљених делова чауре. Расподела напона $p(x)$ у принципу није позната, али је за прорачун предпостављено да је она равномерна. Са аспекта дејства притиска $p(x)$, без обзира на расподелу, критични су елементарни делићи који се налазе на изводницама жљеба дуж y осе. Веома је пожељно, у циљу остварења свестраног притиска, дејство додатног притиска $p(y, \varphi)$. То се реално може догодити у следећим случајевима:

1. Ако између основног ожљебљеног прстена (OP) и ожљебљене вођице (OV) нема зазора.
2. Ако између основног ожљебљеног прстена (OP) и ожљебљене вођице (OV) постоји мали зазор, односно зазор мањи од границе еластичних деформација ових елемената.
3. Ако притисак радног медијума (графитног праха) који процури између ових елемената буде довољан да створи потребан притисак $p(y, \varphi)$.

Ако дође до остварења притиска $p(y, \varphi)$ јавиће се и додатни напони $\tau(y)$ који оптерећују на истезање елементарне делиће распоређене на изводницама ожљебљеног прстена дуж осе y . Ови напони проузрокују силу трења, која по правилу не може битно утицати на напонско стање и која се одговарајућим мерама може смањити.

Практично је, због неминовних грешака израде делова, немогуће остварити спој без зазора између основног ожљебљеног прстена и ожљебљене вођице. Међутим, очигледно је да те грешке треба да буду што мање.

Са теоријског аспекта, повољно је да величина зазора не прелази границу еластичних деформација разматраних елемената. Међутим, то је врло осетљива граница, и практично се овај услов веома тешко постиже. Дозвољене еластичне деформације тврдог метала и керамичких материјала су практично минималне, па је ослањање на ову могућност веома мало поуздано.

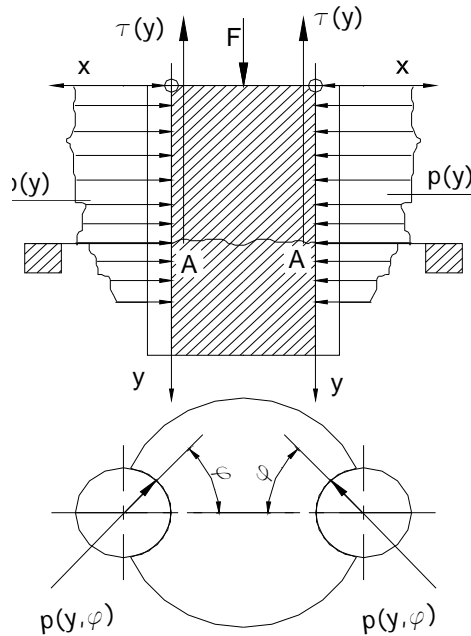
Притисак радног медијума (графитног праха) који процури између основног ожљебљеног прстена и ожљебљене вођице доприноси повољнијем напонском стању ових елемената, само је велико питање да ли је тај притисак и довољан, а и постоји опасност да графитни прах у потпуности напусти предвиђени простор. Треба нагласити, да се довољни додатни напони притиска $p(y, \varphi)$ могу остварити благим пресованим спојем између основног ожљебљеног прстена и ожљебљене вођице. У сваком случају кључ стабилног напонског и деформационог стања је у споју ова два елемента.

Са аспекта напонског и деформационог стања критична је и ожљебљена вођица. Напонско стање ожљебљене вођице може се анализирати на основу шеме оптерећења дате на слици 6.

На површинама ожљебленог дела вођице (OV) делују нормални напони притиска $p(y)$ односно напони $p(y, \varphi)$. Ови бочни напони, настају као последица дејства силе потискивача (силе F). Њихова величина се приближно може прорачунати према обрасцу:

$$p(y) \approx p = \frac{F}{2 \cdot A} \cdot \nu, \text{ где је:}$$

F – величина силе којом се преко потискивача дејствује на затворену масу радног медијума,
 A – попречни пресек затворене масе радног медијума (површина овог пресека је приближно једнака половини површине круга, јер је реч о малим површинама),
 ν - Поасонов коефицијент, који за графит износи: $\nu \approx 0,22$.



Слика 6. Шематски приказ напонског стања ожљебљене вођице

Тангенцијални напони $\tau(y)$ делују са обе стране жљебова, у супротном смеру од смера дејства силе F . Као последица дејства напона $\tau(y)$ јављају се силе трења, такође у супротном смеру од смера дејства силе F . Може се приметити да је део ожљебљене чауре (ОЧ) изнад пресека А-А, у највећој мери оптерећен напонима притиска.

Критични део пресека је пресек А-А, и то из два разлога:

1. Испод пресека А-А, према анализи напонског стања основне ожљебљене чауре, делују напони притиска $n(y)$ и напони $\tau(y)$. Међутим, ово је слободни део пресека у смислу могућих издужења влакана (елементарних делића) дуж осе y .
2. Свако неравномерно пуњење радним медијумом, грешке израде, и остали разлози изазива неуравнотеженост бочних притисака на левом и десном жљебу вођице (ОВ).

Услед неуравнотежености напона могу се јавити огромни моменти који могу довести до лома ожљебљене вођице по пресеку А-А. На реализованом уређају обезбеђено је уравнотежење напона физичким повезивањем левог и десног жљеба (канала). На тај начин могуће је у највећој мери уравнотежити бочне притиске $n(y)$ и спречити лом ожљебљене вођице.

Напонско стање на потискивачу је знатно повољније из вишре разлога, и то:

1. Потискивач (Р) изложен је у највећој мери напонима свестраног притиска и то на површини која је више пута већа од површине његовог попречног пресека,
2. На потискивачу је, због правилног цилиндричног облика потискивача и горњег прстена, одређеним технолошким мерама, могуће обезбедити додатне бочне притиске у широј зони контакта.

Напонско, а тиме и деформационо стање горњег прстена (GP) врло је повољно. С обзиром да је реч о малим запреминама радног медијума и малим површинама на којима делују напони

притиска овај елемент се теоријски може разматрати као бесконачни простор оптерећен на малом делу површине.

Поред изложеног, веома је важно, у циљу задржавања највећег дела радног медијума у ограниченом простору алата, да зазори између анализираних елемената буду што је могуће мањи. Одговарајућим решењем анализираних и осталих спојева на реализованом уређају постигнуто је повољно напонско и деформационо стање и задржан је радни медијум у ограниченом простору, што је допринело остваривању притисака од 13 GPa. Радни медијум је био угљенични прах, чистоће 99,99% и финоће 20 μm . Укупна запремина графитног праха (оба гнезда) износила је: $V \approx 35 \text{ mm}^3$. Величина запремине која се може третирати по изложеном методу, у принципу није ограничена. Могуће је вршити и третирање знатно већих запремина само би у том случају елементи основне конфигурације алата морали бити адекватно димензионисани. Треба нагласити да је већина елемената реализованог уређаја екстремно високог притиска израђена од одговарајућег тврдог метала произвођача WOKSAL из Ужица. На слици 7 дат је фотографски приказ реализованог уређаја (алата) екстремно високог притиска.



Слика 7. Фотографски приказ реализованог уређаја екстремно високог притиска.

На реализованом уређају екстремно високог притиска вршена су испитивања сабијањем угљеничног праха у следећим условима:

- стање угљеника: sp^2 ,
- чистоћа угљеника: 99,99%,
- финоћа честица: 20 μm ,
- запремина почетног пуњења у оба гнезда: $V_p = 140 \text{ mm}^3$,
- начин остваривања силе: специјалнио израђена хидраулична преса са могућношћу прецизног читавања притиска, максималне силе $F_{\text{max}}=200 \text{ KN}$,

- начин утврђивања оствареног притиска: експериментални метод (притисак је одређен преко разлике силе потребне за сабијање и силе потребне за повратни ход алата) и прорачунски метод (метода коначних елемената и друге инжењерске методе).

Експеримент је понављан више пута, уз одговарајуће корекције. Сила је варирана у интервалу потребном за остваривање притисака: $p = 10 \div 13$ GPa. У првом покушају остварен је притисак од $p = 11$ GPa и сабијена запремина угљеника $V \approx 35$ mm³. На слици **8** дат је фотографски прикази угљеника сабијеног на овом притиску.



Слика 8. Узорак угљеника сабијеног на притиску:
 $p \approx 11$ GPa

У другом покушају остварен је притисак од: $p = 13$ GPa. На слици **9** дат је фотографски приказ угљеника сабијеног овим притиском.



Слика 9. Узорак угљеника сабијеног на притиску:
 $p \approx 13$ GPa

У интервалу притисака $p = 11 - 13$ GPa експерименти су понављани више пута. Нису запажена било каква оштећења на основном алату уређаја екстремно високих притисака. На основу извршене анализе установљено је да је угљенични прах, у мањим количинама, процурео кроз зазоре између елемената алата.

5 Литература

- [1] Adrian, P.J., Taniguchi, T., Diamond Nucleation and Growth in Carbonate-Graphite Systems: Implications for Natural Diamond Formation, *Journal of Conference Abstracts*, Volume 2, Number 1, Minsoc, 1997.
- [2] Bundy, F., P., Direct Conversion of Graphite to Diamond in Static Pressure Apparatus, *Journal of Chemical Physics*, Vol.38, NO, 3., February, 1963, Printed in USA.
- [3] Leshchuk, N.V., Novikov, N. V., Levitas, V. I., Thermomechanical model of the Graphite-Diamond Phase Transformation, *Journal of Superhard Materials*, Vol.24, No1, Texas Tech University, Lubbock, U.S.A, 2002.
- [4] Marinković, S., *Dijamant sintetizovan na niskom pritisku*, Partenon, Beograd, 2002.
- [5] Novikov, N.V., New trends in high-pressure synthesis of diamond, *V. Bukul Institute for Superhard Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 2 Avtozavodskaya, St., 254074, Ukraine, January, 1999.
- [6] Tracy, H., Some High-Pressure, High-Temperature Apparatus Design Considerations: Equipment for Use at 100.000 Atmospheres and 3000⁰ C, *Review of Scientific Instruments*, Vol.29, No.4, U.S.A., April, 1958.
- [7] Tracy, H., Anvil Guide Device for Multiple-Anvil High Pressure Apparatus, *Review of Scientific Instruments*, Vol. 33, No 11, U.S.A., November, 1962
- [8] Zazula, J.M., On Graphite Transformations High Temperature and Pressure Induced by Absorption of the LHC Beam, *LHC Project Note 78/97*, January 18, 1997.
- [9] Wang, Y., Durham, W.B., Getting, I.C., Weidner, D.J., The deformation-DIA: A new apparatus for high temperature triaxial deformation to pressures up to 15GPa, *REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS*, Volume 74, Number 6., American Institute of Physics, June 2003.
- [10] Тадић Б., Марјановић Н., Уређаји високог притиска, *Техника, Машињство*, 56 (2007), стр. 8 – 14.

УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ

ПРИМЉЕНО:	18. MAJ 2010.		
Орг. јед.	Бр. ј.	Год.	Стр.

09-4/1979-2

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета у Крагујевцу бр 01-1/1128-14 од 22. 04. 2010. године именовани смо за рецензенте техничког решења „Уређај за остваривање екстремно високих притисака“ аутора: др Бранка Тадића, ред. проф., др Ненада Марјановића, ред. проф., мр. Ђорђа Вукелића, асистента и др Слободанке Галовић, вишег научног сарадника. На основу предлога овог техничког решења подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

Техничко решење „Уређај за остваривање екстремно високих притисака“ аутора др Бранка Тадића, ред. проф., др Ненада Марјановића, ред. проф., мр. Ђорђа Вукелића, асистента и др Слободанке Галовић, вишег научног сарадника, реализовано 2007. године, приказано је на 10 страница формата А4, писаних ћиричним Times New Roman фонтом, нормалним проредом, садржи 9 слика. Састављено је следећих поглавља:

1. Опис проблема који се решава техничким решењем
2. Стање решености проблема у свету – приказ и анализа постојећих решења
3. Суштина техничког решења
4. Детаљан опис техничког решења (укључујући и пратеће илустрације и техничке цртеже) и
5. Литература.

Техничко решење припада области Машинства.

Наручилац техничког решења је Лабораторија за обраду метала резањем, Машинског факултета у Крагујевцу. Основна полазна идеја за ово техничко решење прихваћена је и објављена у раду: Тадић Б., Марјановић Н., Уређаји високог притиска, *Техника, Машинство*, 56 (2007), стр. 8 – 14.

Примена предложеног техничког решења реализована је у Лабораторији за обраду метала резањем, Машинског факултета у Крагујевцу.

МИШЉЕЊЕ

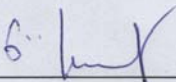
Аутори техничког решења „Уређај за остваривање екстремно високих притисака“ др Бранко Тадић, ред. проф., др Ненад Марјановић, ред. проф., мр Ђорђе Вукелић, асистент и др Слободанка Галовић, виши научни сарадник су јасно приказали и теоријски обрадили комплетну структуру техничког решења.

Приказано и реализовано техничко решење базирано је на оригиналном и теоријски основаном моделу. За разлику од познатих, у свету реализованих решења, ово решење карактерише једноставна и поуздана конструкција и практично широка област примене. На основу фотографских приказа сабијеног угљеника јасно се може закључити да је и остварен притисак реда величине $p = 11 - 13$ ГПа и да је дошло до промена на нивоу кристалне решетке угљеника.

Техничко решење „Уређај за остваривање екстремно високих притисака“ има значајно место у анализи и процесу добијања синтетичког дијаманта.

Са задовољством предлажемо да се техничко решење „Уређај за остваривање екстремно високих притисака“ прихвати као ново техничко решење и да се класификује као нови технолошки поступак.

10. 05. 2010., у Крагујевцу


др Бранислав Јеремић, ред. проф.


др Богдан Неђић, ред. проф.



Универзитет у Крагујевцу
Машински факултет у Крагујевцу
Број : **ТР-16/2010**
10. 06. 2010. године
Крагујевац

Наставно-научно веће Машинског факултета у Крагујевцу на својој седници од 10. 06. 2010. године на основу члана 200. Статута Машинског факултета, донело је

ОДЛУКУ

Усвајају се позитивне рецензије техничког решења „Уређај за остваривање екстремно високих притисака“, аутора **Др Бранка Тадића, Др Ненада Марјановића, Мр Ђорђе Вукелића и Др Слободанке Галовић.**

Решење припада класи **M85**, према класификацији из Правилника о поступку и начину вредновања, и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача, ("Сл. гласник РС", бр. 38/2008).

Рецензенти су:

1. **Др Бранислав Јерemiћ, редовни професор, Машински факултет у Крагујевцу**
2. **Др Богдан Недић, редовни професор, Машински факултет у Крагујевцу**

Достављено:
Ауторима
Архиви



Др Мирослав Бабић, ред. проф.