

Table 1

Average size of titanium carbide size in samples TPS+TiC with different carbon containment and sintering duration

C containment, at.%,	Volume containment TiC, vol.%,	Sintering duration, min	Average grain size, $\mu\text{m}$
10	12,5	30	7,4 $\pm$ 3,0
10	12,5	240	12,4 $\pm$ 4,5
20	27,7	30	6,2 $\pm$ 2,5
20	27,7	240	11,7 $\pm$ 4,9

## References.

1. Korotaev A.D., Borisov D.P., Moshkov V.V., Ovchinnikov S.V., Tyumentsev A.N., Pribytkov G.A. Peculiarities of structural phase and elastic stress states of superhard tin-based nanocomposite coatings. Physical Mesomechanics. 2013, Vol. 16, No. 1, pp.73-83.
2. Shtansky D.V., Kiryukhantsev-Korneev Ph.V., Bashkova I.A., Sheveiko A.N., Levashov E.A. Multi-component nanostructured films for various tribological applications. Int. J. Ref. Met. Hard Mater. 28 (2010) 32-39.
3. G.A. Pribytkov, M.I. Vagner, V.V. Korjova, E.N. Korosteljova, A.V. Gurskih, I.A. Firsina. Sintering of powder compositions titanium - silicon and titanium - titanium silicide. Powder metallurgy, 2013, № 11-12, p. 3-12.
4. Properties, obtaining and usage of refractory compounds. T.Ya. Kosolapova. Moskva: Metallurgy, 1986
5. Iverson V.A. Phenomenology of sintering and some theoretical questions. Moskva: Engineering, 1985
6. Modern instrumental materials based on refractory compounds. VINITS. Moskva: Metallurgy, 1985.
7. Samsonov G.V., Upadhaja G.Sh. Neshpor V.S. Physical methods in material science of carbides. Kiev, Naukiva dumka, 1974

### К ВОПРОСУ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ МАКСИМАЛЬНОГО МОМЕНТА УСТРОЙСТВА БЛОКИРОВКИ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ МУФТЫ

*А.В. Коперчук, к.т.н., доц., А.В. Мушин\*, к.т.н., доц.*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского Томского политехнического университета*

*632055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)60537,*

*E-mail: avkop@tpi.ru*

*\*Томский политехнический университет*

*634050, г. Томск проспект Ленина 30, тел. (3822) 56-46-55*

Гидродинамические муфты (гидромуфты) широко применяются в приводах различных машин. Наиболее востребованы эти конструкции в горнодобывающей промышленности. Даже современные опытные разработки, такие как геоход [1], невозможно представить без гидромуфт. При их использовании привод приобретает целый ряд положительных свойств, из которых наиболее важными являются:

- плавный разгон машин до рабочей скорости;
- предохранение приводного двигателя и механической трансмиссии от недопустимых перегрузок при резком торможении и пуске;
- стабильность и автоматичность срабатывания при заданном значении предельного момента и самовосстанавливаемость рабочего режима при устранении перегрузки [2, 3].

Существенным недостатком гидромуфт является потеря энергии на установившемся режиме из-за наличия скольжения  $S$ , т.е. отставания частоты вращения турбинного колеса  $n_2$  от частоты насосного  $n_1$ . Эта величина показывает долю потерь мощности, идущих на нагрев рабочей жидкости и деталей гидромуфты. Наличие скольжения обусловлено тем, что циркуляция жидкости, обеспечивающая передачу энергии от насосного колеса к турбинному, прекращается раньше, чем сравниваются угловые скорости насосного и турбинного колеса.

Названный недостаток можно устранить, применив устройство блокировки (УБ), замыкающее ведущий и ведомый валы после достижения определенной угловой скорости [4].

Основными недостатками большинства существующих УБ можно считать:

- сложность конструкции;

- наличие механизма управления;
- отсутствие предохранительных свойств в заблокированном состоянии.

Оригинальное решение предложено А.В. Муриным и В.А. Осиповым (рис.1) [5]. УБ выполнено в виде центробежной муфты с дробью и гофрированным диском. К достоинствам предлагаемой муфты можно отнести компактность, простоту конструкции, наличие предохранительных свойств в заблокированном состоянии.

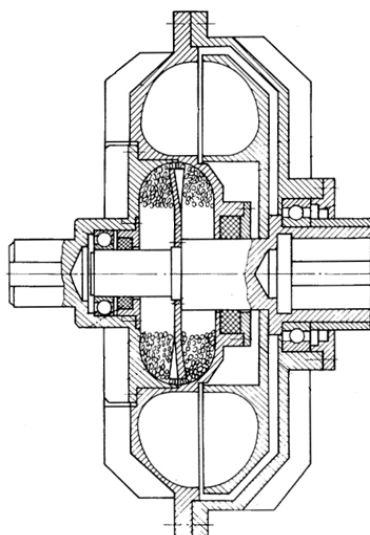


Рис. 1. Блокируемая предохранительная гидромуфта  
А.В. Мурина, В.А. Осипова

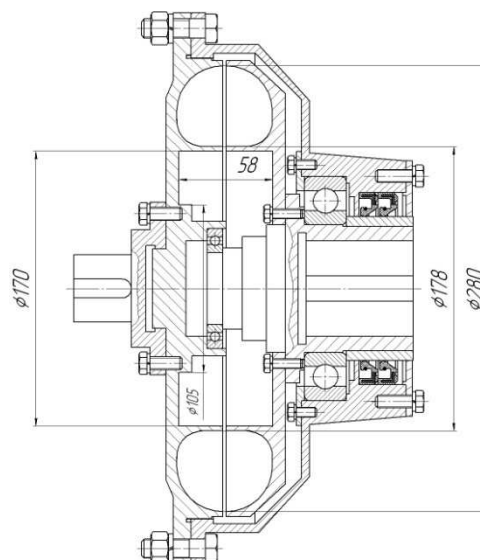


Рис. 2. Конструкция базовой предохранительной гидромуфты

Теоретическая оценка нагрузочной способности УБ выполнялась по зависимости (1) [5]. Максимальный момент  $M_{\text{тор}}$  (Нм), передаваемый УБ с торовой полостью равен:

$$M_{\text{тор}} = \pi \cdot f \cdot \gamma \cdot k_{\gamma} \cdot \omega_1 \left\{ \rho \left[ \pi \cdot r_1^2 (r_1^2 - r_0^2) + 4 \cdot r_1 \cdot \rho (2r_1^2 - r_0^2) + \frac{\pi}{2} \rho^2 (6r_1^2 - r_0^2) + \frac{16}{3} r_1 \rho^3 + \frac{3\pi}{8} \rho^4 \right] + 2 \left[ r_1^3 \left( \frac{r_1^2}{5} - \frac{r_0^2}{3} \right) + \frac{2}{15} r_0^5 \right] \right\}, \quad (1)$$

- где  $f$  - коэффициент трения;  
 $\gamma$  - плотность материала сыпучего тела, кг/м<sup>3</sup>;  
 $k_{\gamma}$  - коэффициент пористости сыпучего материала;  
 $\omega_1$  - угловая скорость корпуса муфты, с<sup>-1</sup>;  
 $\rho$  - радиус полутора, м;  
 $r_0$  - радиус свободной поверхности сыпучего тела, м.  
 $r_1$  - наибольший радиус плоской внутренней поверхности корпуса, м.

При условии размещения во вспомогательной полости базовой предохранительной гидромуфты (рис.2) размеры полости УБ с учетом толщины дополнительных деталей могут составлять максимально  $H = 2\rho = 0,04$  м;  $r_0 = 0,053$  м;  $R_0 = 0,08$  м (см. рис.3а). Для  $f = 0,15$  (сталь по стали без смазки);  $\gamma = 7800$  кг/м<sup>3</sup>;  $k_{\gamma} = 0,65$  [7];  $\omega_1 = 157,1$  с<sup>-1</sup>;  $R = 0,078$  м;  $\delta = 0,003$  м максимальный момент УБ будет равен 54 Нм. Номинальный момент базовой гидромуфты, составляет 89...72 Нм при рекомендуемом значении коэффициента перегрузки  $k_n = 2...2,5$  [8]. Таким образом, УБ не способно обеспечить блокирование предохранительной гидромуфты в рабочем режиме. В связи с этим возникла необходимость повышения нагрузочной способности механизма.

Анализ возможных вариантов показал, что наиболее простым и технологичным решением этой задачи является изменение формы внутренней полости (рис. 3).

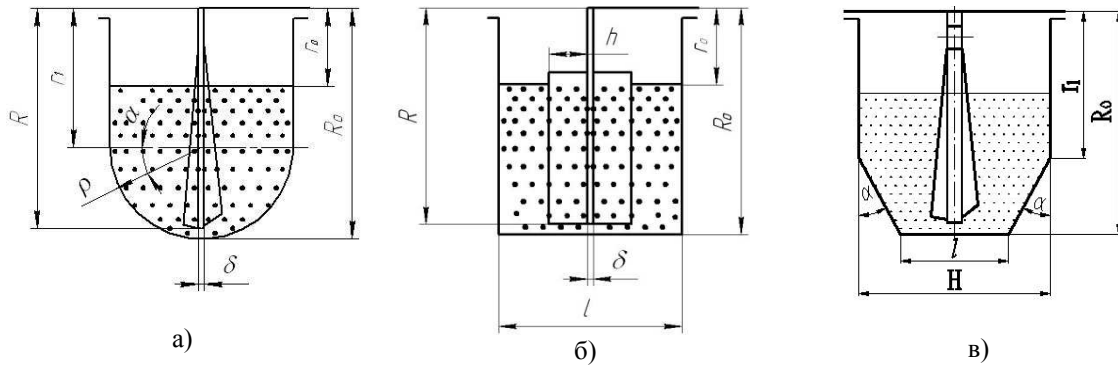


Рис. 3. Варианты формы внутренней полости УБ:  
а) торовая, б) цилиндрическая, в) коническая

За счет использования полости цилиндрической формы возможно размещение большего количества дробы без изменения наружного диаметра и осевого размера, а коническая форма рабочей полости увеличит трение между стенками внутренней полости и сыпучим материалом.

В литературе не было найдено данных, позволяющих определить максимальный момент УБ с дробью с ведущим корпусом и отличной от тора формой полости, поэтому были разработаны оригинальные зависимости [9].

Максимальный момент  $M_k$  (Нм), передаваемый УБ с конической полостью, можно определить по выражению:

$$M_k = \pi \cdot \epsilon \cdot \gamma \cdot k_\gamma \cdot \omega_1^2 \left( l \cdot R_0^2 (R_0^2 - r_0^2) + \frac{2}{\cos \alpha} \left[ R_0^3 \left( \frac{R_0^2}{5} - \frac{r_1^2}{3} \right) + \frac{2}{15} r_1^5 \right] + 2 \left[ r_1^3 \left( \frac{r_1^2}{5} - \frac{r_0^2}{3} \right) + \frac{2}{15} r_0^5 \right] \right). \quad (2)$$

Для цилиндрической формы максимальный момент  $M_{цил}$  (Нм) равен:

$$M_{цил} = \pi \cdot \gamma \cdot k_\gamma \cdot f \cdot \omega_1^2 \left( l \cdot R_0^2 (R_0^2 - r_0^2) + 2 \left[ R_0^3 \left( \frac{R_0^2}{5} - \frac{r_0^2}{3} \right) + \frac{2}{15} r_0^5 \right] \right). \quad (3)$$

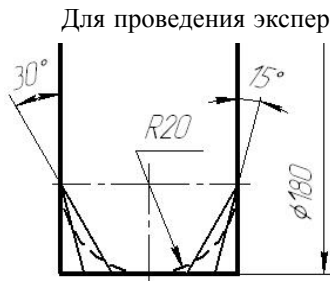


Рис.4. Варианты исполнения внутренней полости механизма блокировки

Для проведения экспериментальных исследований из стали 20 были изготовлены 4 конструкции УБ с одинаковыми наибольшим радиусом внутренней полости  $R_0=90$  мм и осевым размером 40 мм с торовой, цилиндрической (см. рис.4), конической с углом  $\alpha=15^\circ$  и углом  $\alpha=30^\circ$  формами внутренней полости. Ведомый диск с выступами высотой 12 мм и формой, повторяющей внутреннюю полость, полностью исключал скольжение сыпучего материала по диску. В качестве наполнителя были использованы закаленные полированные шарики диаметром 4,763 мм из стали ШХ15. Масса сыпучего наполнителя определялась из условия постоянства радиуса свободной поверхности сыпучего тела  $r_0 = 57$  мм. В качестве приводного использовался асинхронный короткозамкнутый электродвигатель А72-4 мощностью 28 кВт. Частота вращения входного вала муфты находилась в пределах 1460...1500 мин.<sup>-1</sup>. Нагружение выходного вала муфты осуществлялось электрическим и механическим тормозами.

Экспериментально было установлено, что без рабочей жидкости в гидромуфте нельзя осуществить разгон ненагруженного ведомого вала при заполненном до рабочих значений сыпучим телом УБ. Пусковой момент УБ с гладкой поверхностью внутренней полости недостаточен для преодоления сопротивления в подшипниках, упругой муфте, ременной передаче и подшипниках электрического тормоза испытательного стенда. Для осуществления разгона ведомого звена в гидродинамическую муфту был залит 1 литр рабочей жидкости, что соответствует степени ее наполнения 28%. При данном наполнении гидромуфта не может осуществить разгон ведомого вала испытательного стенда до частоты вращения, близкой к частоте ведущего. Работа гидромуфты в данных условиях сопровождается интенсивным нагревом, т.к. минимальная величина скольжения в процессе работы  $S=0,33$ . Максимальный момент гидромуфты в этом случае довольно мал. Данное наблюдение говорит о том,

что УБ обладает малым пусковым моментом и не снижает пусковых свойств гидромурфт. Дальней-

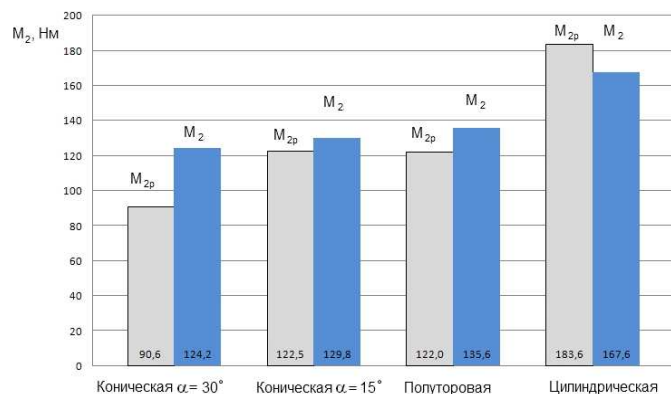


Рис. 5. Диаграмма сопоставления расчетных  $M_{2p}$  и экспериментальных  $M_2$  значений максимального момента

вой, цилиндрической, конической с углом  $\alpha = 15^\circ$  формы.

По результатам испытаний были построены механические характеристики УБ (рис.6).

шие исследования проводились с частично заполненной до названной величины гидромурфтой.

На рис.5 представлено о сопоставление расчетных значений максимального момента УБ испытанных форм и значений, полученных экспериментально. В расчетах коэффициент трения  $f$  принимался равным 0,2 [10], а коэффициент пористости  $k_p$  равным 0,6 [11].

По диаграмме можно сказать, что разработанные зависимости (1-3) позволяют с приемлемой точностью определить значение максимального момента УБ торо-

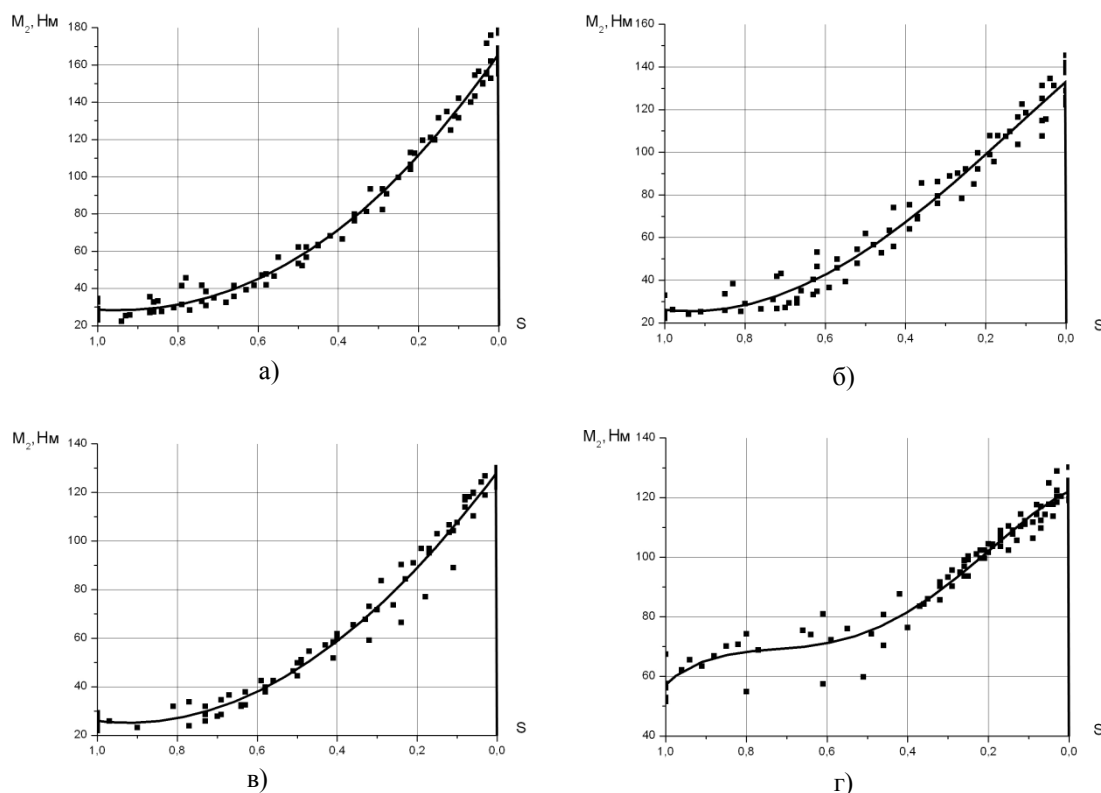


Рис. 6. Механические характеристики механизмов блокировки: а) с цилиндрической рабочей полостью ( $R^2 = 0,99$ ); б) с торовой рабочей полостью ( $R^2 = 0,97$ ); в) с конической с углом  $\alpha = 15^\circ$  ( $R^2 = 0,98$ ); г) с конической с углом  $\alpha = 30^\circ$  ( $R^2 = 0,96$ )

Для более наглядного сравнения механические характеристики УБ представлены на рис.7.

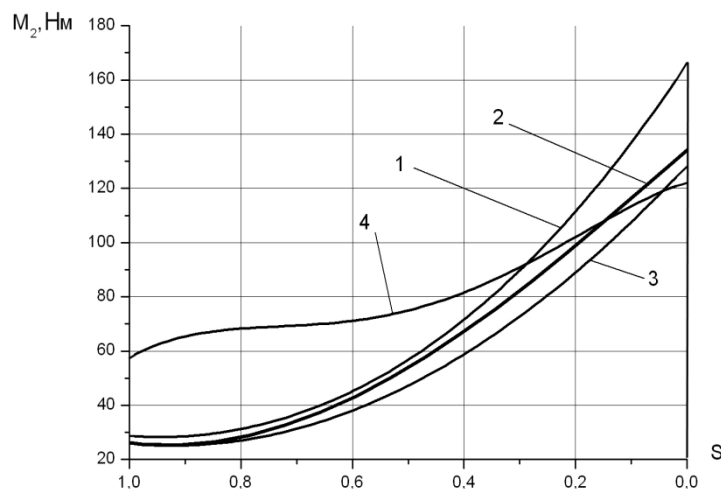


Рис. 7. Механические характеристики механизмов блокировки при наполнении гидромуфты 28%:  
1 - с цилиндрической рабочей полостью; 2 - с торовой; 3 - с конической с углом  $\alpha = 15^\circ$ ; 4 - с конической с углом  $\alpha = 30^\circ$

Анализ полученных данных показывает, что:

- наибольшей нагрузочной способностью при равных радиальных, осевых размерах и одинаковом радиусе свободной поверхности сыпучего наполнителя обладает УБ с цилиндрической формой внутренней полости;
- при использовании цилиндрической формы полости по сравнению с известной торовой увеличение максимального момента составляет 23,6%;
- УБ с цилиндрической, торовой, конической с углом  $\alpha = 15^\circ$  рабочей полостью обладают малым значением момента при отсутствии вращения ведомого вала, что не снижает пусковых свойств гидромуфты;
- увеличение значений угла  $\alpha$  для конической формы полости нецелесообразно, т.к. в этом случае снижается максимальный и увеличивается момент УБ при 100% скольжении, что приводит к дополнительной нагрузке на приводной двигатель и более интенсивному износу деталей УБ.

Литература.

1. V.V. Aksenov, A.A. Khoreshok, V.Yu. Beglyakov, Justification of creation of an external propulsor for multipurpose shield-type heading machine – GEO-WALKER Applied Mechanics and Materials, 2013, Vol. 379, p. 16-19.
2. Крутик, А.В. Гидромуфты - средство повышения надежности машин / А.В. Крутик // Машиностроитель. - 2001. - № 6. - С. 12-18.
3. Гидромуфты [Электронный ресурс] // Эско. Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы».- 2004.- №11.- Режим доступа: [http://escosys.narod.ru/2004\\_11/art28.htm](http://escosys.narod.ru/2004_11/art28.htm).
4. Мурин, А. В. Снижение потерь энергии в приводах горных машин за счёт применения блокируемой гидродинамической муфты / А. В. Мурин, А. В. Коперчук // Горное машиностроение: Сборник материалов. Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала) Mining Informational and analytical Bulletin (scientific and technical journal). – 2011. – № 0В2. – М.: издательство «Горная книга».- С. 337-343.
5. А.с. 1075027А СССР, МКИ<sup>4</sup> F16D39/00. Гидродинамическая предохранительная блокируемая муфта/ А.В. Мурин, В.А. Осипов (СССР).- №3390034/25-27; заявл. 05.02.82; опубл. 23.02.84, Бюл. №7.- 4 с.: ил.
6. Коперчук, А.В. Совершенствование блокируемой гидродинамической муфты для приводов горных машин / А.В. Коперчук, А.В. Мурин // Горное машиностроение: Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала) Mining Informational and analytical Bulletin (scientific and technical journal). – 2012. – № 0В3. – М.: издательство «Горная книга». – с. 300-305.

7. Осипов, В.А. Основы выбора параметров предохранительных блокируемых муфт и предохранительных инерционных муфт для приводов машин (на примере машин химического производства): дисс. ... канд. техн. наук: 05.02.02 / Осипов Вениамин Анатольевич.- Томск, 1987.-118 с.
8. Иванов, Е.А. Муфты для приводов / Е.А. Иванов.- М.: Машиностроение, 1964. - 110 с.
9. Коперчук, А.В. Повышение нагрузочной способности механизма блокировки предохранительной гидродинамической муфты / А.В. Коперчук, А.В. Мурин // Материалы VIII международной научно-практической конференции «Прикладные научные разработки – 2012».– Прага, 2012.-Том 13.- с. 11-14.
10. Дьяченко, С.К. Предохранительные муфты / С.К. Дьяченко, Н.Ф. Киркач.- Киев: Государственное издательство технической литературы УССР, 1962.- 124 с.
11. Коперчук, А.В. Совершенствование механизма блокировки предохранительной гидродинамической муфты : дисс. ... канд. техн. наук: 05.02.02 / Коперчук Александр Викторович.- Томск, 2013.-109 с.

### **ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ЗЕРЕН НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ**

*А.Н. Коротков, д.т.н., проф., Л.П.Короткова\*, к.т.н., доц., Р.Х. Губайдулина\*\*, к.т.н., доц.  
Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачёва  
650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, тел. (3822)-39-63-99  
E-mail: korotkov.a.n@mail.ru*

*\*Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачёва  
650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, тел. (3822)-39-63-86  
E-mail: techmet@list.ru*

*\*\* Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (354-51)6-22-48  
E-mail: victory\_28@mail.ru*

#### **Введение**

Шлифовальные круги широко используются при изготовлении различных деталей, находя не только традиционное применение на чистовых, отделочных операциях, но и активно распространяясь на черновые, отрезные и обдирочные виды обработки. Этому способствует как эксплуатационные возможности данных инструментов, так и доступность и недефицитность абразивных материалов, из которых они изготавливаются. В то же время анализ показывает, что эффективность применения существующих конструкций шлифовальных кругов невысока и составляет лишь небольшую долю от их максимально достижимых показателей. Одной из главных причин такого положения является отсутствие контроля за формой режущих элементов этих инструментов, которыми служат отдельные абразивные зерна, находящиеся на рабочей поверхности кругов и обеспечивающие процесс множественного микрорезания [1]. Форма зерен формирует их геометрию, предопределяя ту или иную способность зерен срезать обрабатываемый материал, находясь в теле шлифовального круга. Поскольку стандартные шлифовальные круги состоят из зерен, форма которых произвольно изменяется от изометрических до иглообразных и пластинчатых разновидностей, то и геометрия зерен (т.е. углы резания и передние углы) тоже произвольно колеблется. В диапазон произвольных изменений геометрии зерен лишь случайным образом попадают углы, благоприятные для срезания стружки. Большая часть зерен, имеющих неблагоприятную для резания геометрию, или вообще не участвует в процессе микрорезания либо срезает стружки с большими деформациями и сильным нагревом металла [2].

Упорядочение формы зерен и, как следствие, их геометрии позволяет увеличить эффективность работы каждого отдельного зерна и, значит, повысить работоспособность шлифовальных кругов в целом.

В данной работе описываются результаты решения названной научной проблемы, полученные путем изготовления и испытания шлифовальных кругов из зерен с контролируемой формой.

#### **Методика и результаты оценки формы зерен**

Для количественной оценки встречающихся разновидностей форм зерен использован коэффициент формы, равный отношению диаметра описанной вокруг проекции зерна на плоскость окружности (или описанной вокруг зерна сферы, в трехмерной системе координат [3]) к диаметру вписанной окружности (или вписанной сферы). Для получения коэффициента формы зерен рассматривае-