

УДК 620.17

## Способ загрузки порошкового материала в устройство для центробежного формования изделий с поворотным механизмом

Н.П. Петров<sup>1 а</sup>, А.С. Яньюшкин<sup>2 б</sup>, Ю.Г. Мразов<sup>2 с</sup><sup>1</sup>Чувашский государственный университет им. Ульянова, Московский пр-т 15, Чебоксары, Россия<sup>2</sup>Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия<sup>а</sup>nikola2034@yandex.ru, <sup>б</sup>yanyushkin@brstu.ru, <sup>с</sup>teachmach@brstu.ru

Статья получена 20.05.2014, принята 15.08.2014

*В статье отражены возможные способы формообразования сложных изделий методами предварительной прокатки с вертикальной осью вращения матрицы. Рассмотрены кинематика и динамика движения порошка. С использованием аналитических зависимостей, описывающих процесс загрузки и разгрузки при кинетическом индентировании сферой, определена удельная энергоёмкость пластического вытеснения материала от уровня исходной поверхности. При этом сделано допущение о сферической форме остаточной лунки. Энергетическая твердость материала определена как отношение приращения работы пластического деформирования к приращению объема вытесненного материала. Данный способ загрузки порошкового материала позволяет получить изделия с равномерной и заданной плотностью, а также многослойные, со сложной формой поверхности. Равномерность действия центробежных сил может обеспечить удержание и уплотнение порошка на внутренней поверхности вращающейся формы, а степень уплотнения порошка будет регулируемой за счет предварительного равномерного распределения порошка по контуру. Сочетание центробежного формования порошка во вращающейся матрице с его уплотнением формирующим элементом позволяет получить изделия типа тел вращения – полые, глухие с одной стороны, с управляемой плотностью, одно- и многослойные, а также сложной формы.*

**Ключевые слова:** порошковые материалы, детали машин, способ получения, загрузки, устройства, формование, качество, способ формования, сложные формы.

## Method of powder material loading into rotational molder for products with rotary mechanism

N.P. Petrov<sup>1 а</sup>, A.S. Yanyushkin<sup>2 б</sup>, Yu.G. Mrazov<sup>2 с</sup><sup>1</sup>Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, 15 Moskovsky Ave., Cheboksary, Russia<sup>2</sup>Bratsk State University, 40 Makarenko St., Bratsk, Russia<sup>а</sup>nikola2034@yandex.ru, <sup>б</sup>yanyushkin@brstu.ru, <sup>с</sup>teachmach@brstu.ru

Received 20.05.2014, accepted 15.08.2014

*The paper presents possible ways of forming complex products by pre-rolling methods with a vertical axis of matrix rotation. Kinematics and dynamics of powder motion has been studied. Energy density of plastic extrusion of the material according to the level of initial surface has been defined with analytical dependences describing loading and unloading processes under kinetic indentation by the sphere. The assumption about spherical shape of residual dimple has been presented. Energy hardness of the material has been defined as the ratio of incremental work of the plastic deformation to incremental volume of extruded material. This method of loading particulate material allows getting products with a uniform and predetermined density, and multilayer products with complex-shaped surface. Uniformity of centrifugal force can provide powder holding and compaction on the inner surface of a rotary mold, and the degree of powder compaction is controlled by pre-uniform distribution of the powder over the contour. The combination of rotational molding powder in a rotating matrix with its compression by forming element allows getting products of a rotation-body type, i.e. they are hollow, without openings on one side, with controlled density, single-and multilayer and with complex shapes.*

**Keywords:** powder materials, machine parts, production process, loadings, molding, quality, molding process, complex shapes.

**Введение.** Используемые для получения деталей машин и других изделий порошки представляют совокупность большого числа в основном твердых частиц металла и соединений размером не более 1 мм. Деформация порошка под действием внешних сил происходит как за счет взаимного перемещения частиц, так и их деформаций. При этом в зависимости от условий процесса, увеличения или уменьшения шарового тензора происходит уплотнение или разуплотнение по-

рошка. В устройствах для центробежного формования с вертикальным расположением матрицы важным фактором является величина угловой скорости вращения матрицы. Она зависит от характеристик привода, геометрии внутренней стенки матрицы и значений центробежных сил. Первоначальное уплотнение материала и сцепление частиц порошка с поверхностью матрицы происходит именно за счет центробежных сил. Оказалось, что регулирование величин центробежных сил

возможно за счет изменения конструкции устройства и способов загрузки порошкового материала.

**Актуальность работы** определяется возможностью получения полых, глухих с одной стороны изделий и экономической эффективностью применения данной технологии. Реализация этой возможности определяет необходимость проведения специальных исследований.

**Постановка и решение задачи.** Известны несколько способов загрузки порошкового материала в устройство для центробежного формования с вертикальным расположением матрицы [1, 2]. В данной работе предложен один из способов – это загрузка порошка в устройство для центробежного формования изделий с поворотным механизмом. Эскиз устройства показан на рис. 1.

Устройство представляет собой матрицу определенной геометрической формы (рис. 2), которая имеет возможность вращаться вокруг продольной оси с бесступенчатым приводом вращения.

Также вал совместно с матрицей выполнены таким образом, чтобы появилась возможность поворота матрицы относительно горизонтальной оси, расположенной перпендикулярно плоскости чертежа на  $180^\circ$ .

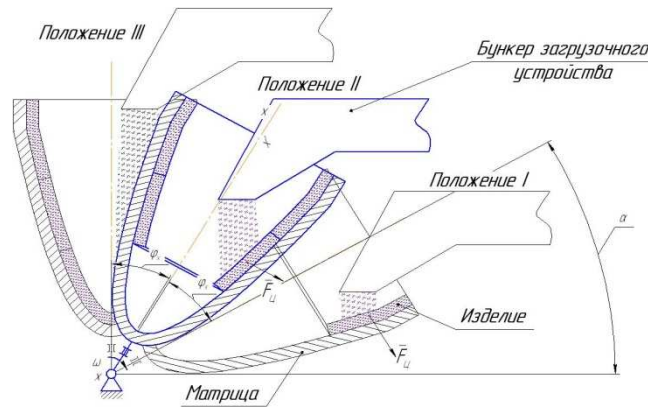


Рис. 1. Устройство с поворотной матрицей

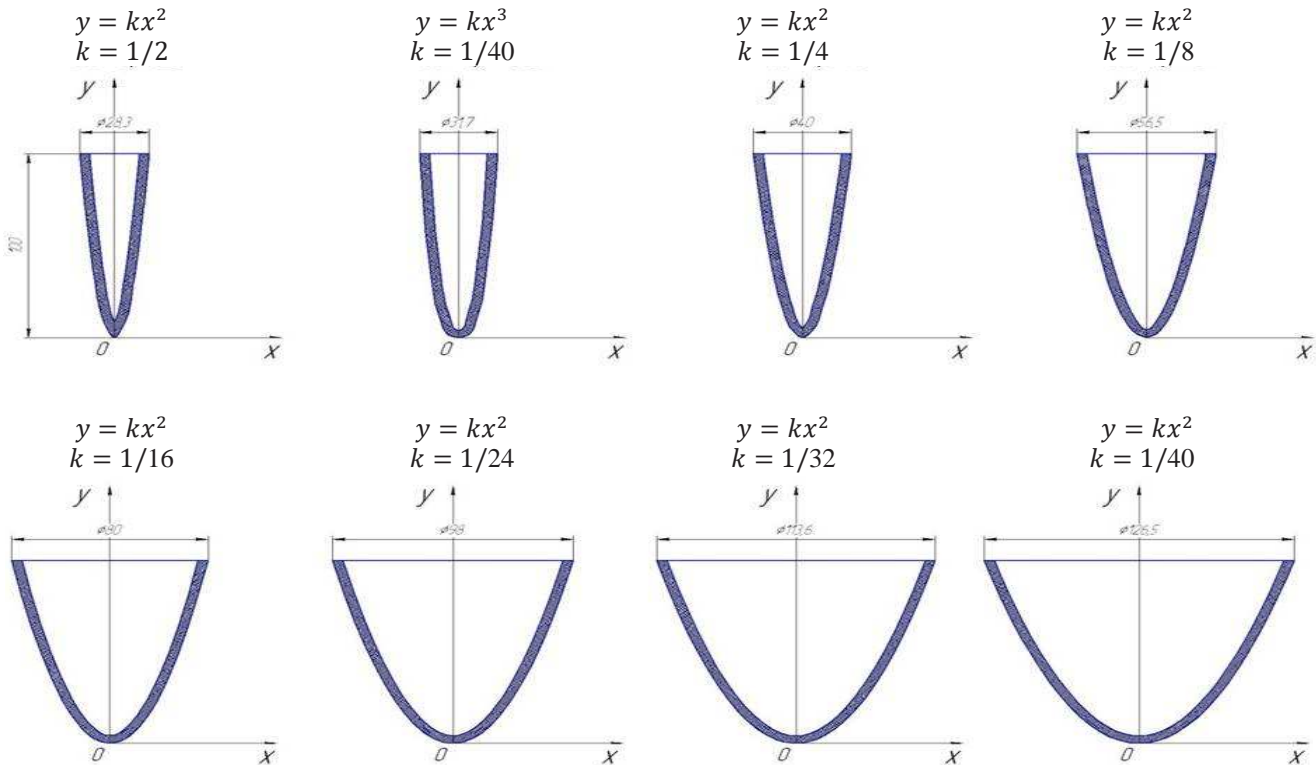


Рис. 2. Геометрия рабочих поверхностей матрицы в функциональной зависимости  $y = kx^2$

Первоначальное положение матрицы находится под углом  $\alpha_1 = 30^\circ$  (угол  $\alpha_1$  зависит от конструктивных особенностей матрицы). Включают привод вращения матрицы, и из бункера начинается загрузка порошка на участке a-b. За счет действия центробежных сил начинается первоначальное уплотнение порошка. На этом участке центробежные силы имеют максимальные значения. Бесступенчато матрица поворачивается против часовой стрелки (увеличение угла  $\alpha_1$ ) с одновременной загрузкой порошка на следующем участке b-c. Проис-

ходит уплотнение порошкового слоя за счет действия центробежных сил, и так до вертикального положения матрицы. Процесс непрерывный, с изменяющимся положением и матрицы, и бункера, при этом изменение положений выполняется по определенному закону. Отсутствует скачкообразное прерывание движения и матрицы, и бункерно-загрузочного устройства [3, 4].

Формование порошкового слоя в центре матрицы (нижняя пороговая область) происходит благодаря введению дополнительного элемента – формирующего ролика.

Существенное влияние на процесс прокатки оказывает газовая фаза порошка. Поры, а, следовательно, и воздух обычно составляют более 2/3 объема свободно насыпанного порошка. При его уплотнении роликом выход выдавливаемого из пор воздуха происходит в направлении наименьшего сопротивления – против движения порошка. В результате в верхней части области интенсивного уплотнения порошка роликом образуется поток воздуха, задерживающий поступление порошка в эту область. При увеличении скорости прокатки поток выдавливаемого из порошка воздуха возрастает, что увеличивает сопротивление его движению в область уплотнения и уменьшает толщину и плотность проката.

Данный способ исключает использование привода с большими скоростями вращения, так как распределение порошкового слоя происходило плавно, без дополнительных усилий. Предварительно сформованное изделие далее выглаживается формирующим роликом с последующим накатыванием порошкового слоя до требуемых значений плотности и равномерного их распределения по контуру изделия.

Схема прессования определяется отношением скоростей движения формирующего элемента и последовательностью приложения нагрузки к различным участкам поверхности прессовки. Необходимо, чтобы течение порошка приводило к распределению плотности в прессовке, наиболее близкому к равномерному. Неравномерность распределения плотности (неравноплотность) при холодном прессовании обусловлена двумя факторами:

- 1) внешним трением порошка о стенки матрицы и поверхности формирующего элемента;
- 2) наличием внутренних и внешних ступенчатых переходов в направлении прессования, а также криволинейных поверхностей или непараллельных оснований плоскостей, ограничивающих деталь.

Загрузка продолжается до полного покрытия внутренней поверхности матрицы порошковым слоем ( $\alpha = 90^\circ$ ). Рассмотрим более подробно способ загрузки порошковой массы в матрицу. Данный способ исключает дополнительные усилия для перераспределения порошкового слоя по контуру матрицы.

На рис. 3 показано первое положение матрицы, где загрузка порошка происходит в верхней части матрицы с наибольшим действием центробежных сил. Порошок распределяется равномерно вдоль внутренней поверхности матрицы за счет согласованного движения бункера загрузочного устройства (поворот матрицы и траектория движения лотка загрузочного устройства обеспечиваются дополнительным приводным механизмом). На этом участке наиболее выражено уплотнение порошкового слоя ввиду максимальных значений радиусов внутренней стенки ( $F_{цmax} = m \cdot \omega^2 \cdot r_{max}$ ).

На рис. 4 (положение II) показано положение матрицы, где загрузочное устройство располагается в некотором промежуточном состоянии с измененными значениями проекции центробежных сил и сил тяжести. Именно они и характеризуют напряженность час-

тиц порошка. На рисунке видно, что частица порошка вытягивается по касательной в линейном направлении.

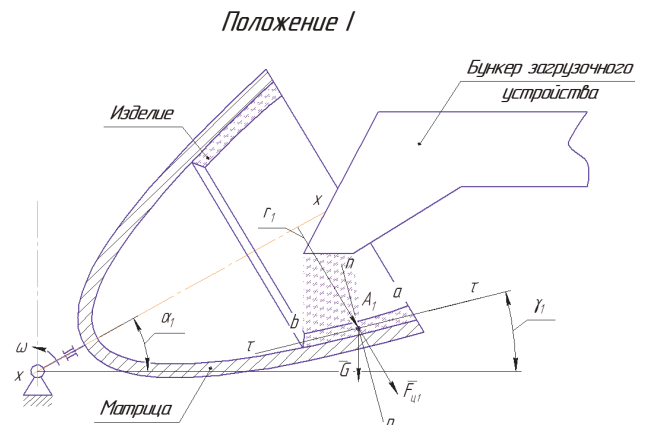


Рис. 3. Схема действия сил в центре масс на участке a-b в 1-м положении матрицы

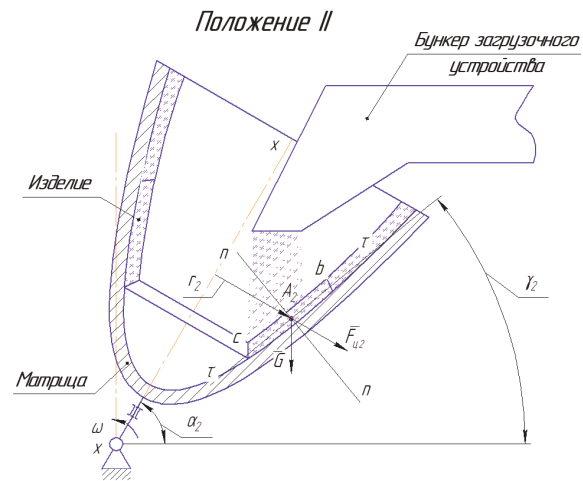


Рис. 4. Схема действия сил в центре масс на участке b-c во 2-м положении матрицы

На рис. 5 (положение III) приведена классическая схема расположения матрицы.

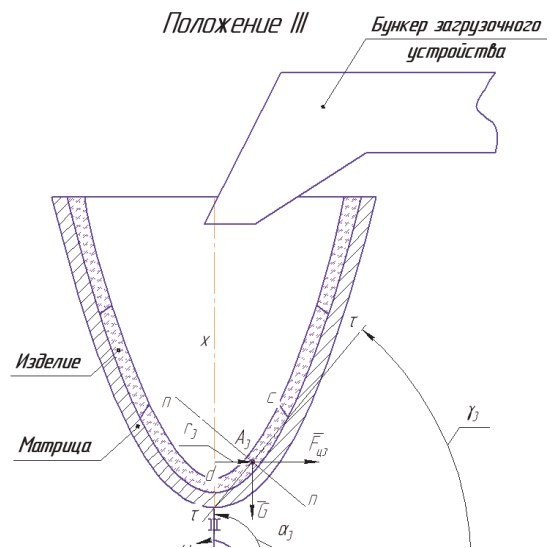


Рис. 5. Схема действия сил в центре масс на участке c-d в 3-м положении матрицы

Этот случай авторами описан в ранних работах. В так называемой мертвой зоне, где значения центробежных сил незначительны или равны нулю, равномерное распределение порошкового слоя можно обеспечить только уплотняя этот участок дополнительным элементом – формующим роликом.

Изменение значений центробежных сил при различных значениях угловой скорости и положений матрицы относительно горизонтали в наглядной форме приведено на рис. 6.

На рис. 7...9 показаны составляющие центробежной силы инерции и силы тяжести на линии касательной  $\tau$ - $\tau$  и на линии нормали  $n$ - $n$  для первого положения матрицы при различных частотах вращения. Как видно на рисунках, составляющие сил характеризуют напряжен-

ность частицы порошка с растягивающими или сжимающими свойствами названных сил. Проекции составляющих на нормаль  $n$ - $n$  показывают степень сжатия частицы к стенке матрицы или степень отрыва от нее. Динамика составляющих сил тяжести и центробежной силы приведена на этих рисунках с выполнением векторных составляющих в масштабе.

*Примечание:* на данных рисунках составляющие сил Кориолиса отсутствуют ввиду их несоизмеримо малых величин.

Метод не предполагает высоких скоростей вращения, но имеет сложность в изготовлении поворотной матрицы, задании закона движения загрузочного лотка, поворота матрицы и регулировании ее скорости вращения.

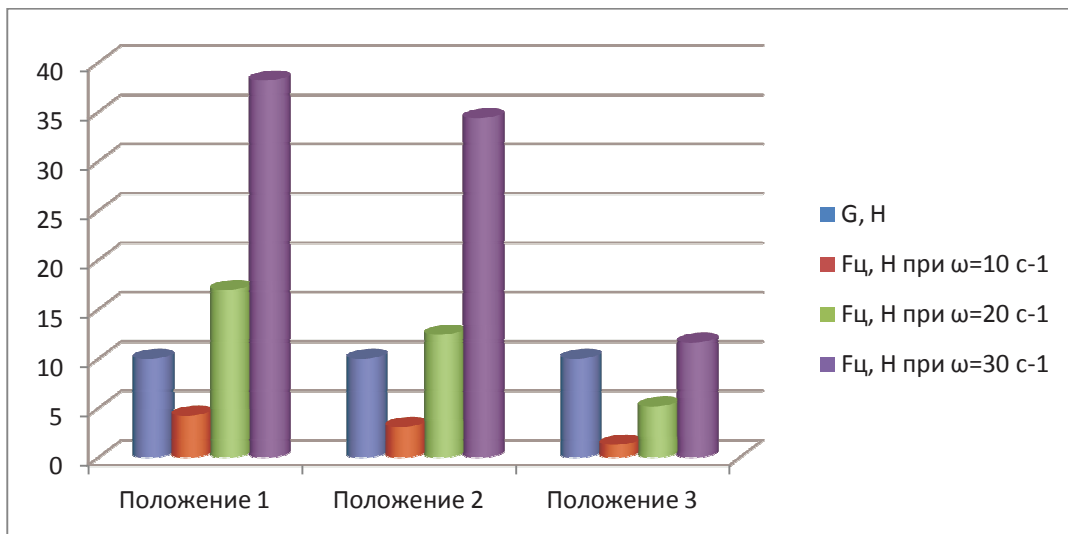


Рис. 6. Диаграмма соотношения сил, действующих на частицу порошка при различных значениях частоты вращения матрицы

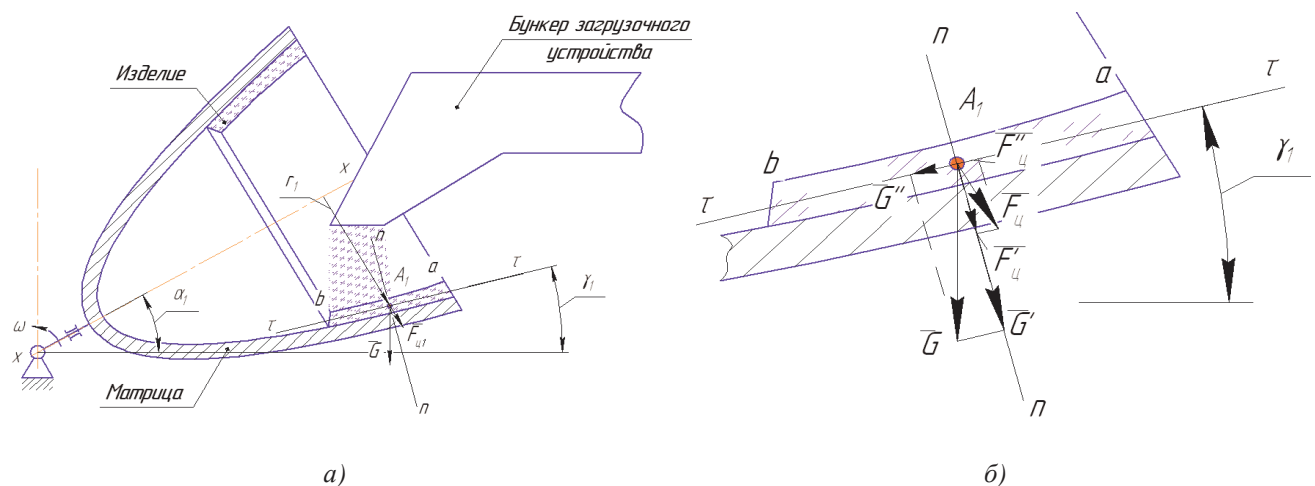


Рис. 7. Нагрузочная схема для положения I при

: а) – без учета масштаба; б) – в масштабе

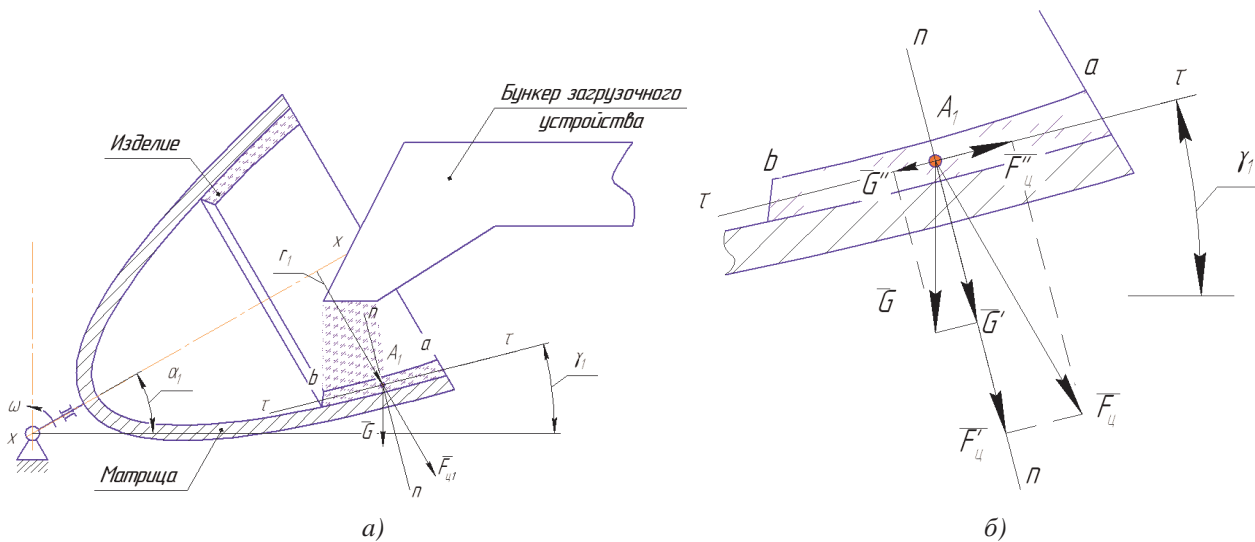


Рис. 8. Нагрузочная схема для положения I при  $\omega_R = 20 \text{ с}^{-1}$ : а) – без учета масштаба; б) – в масштабе

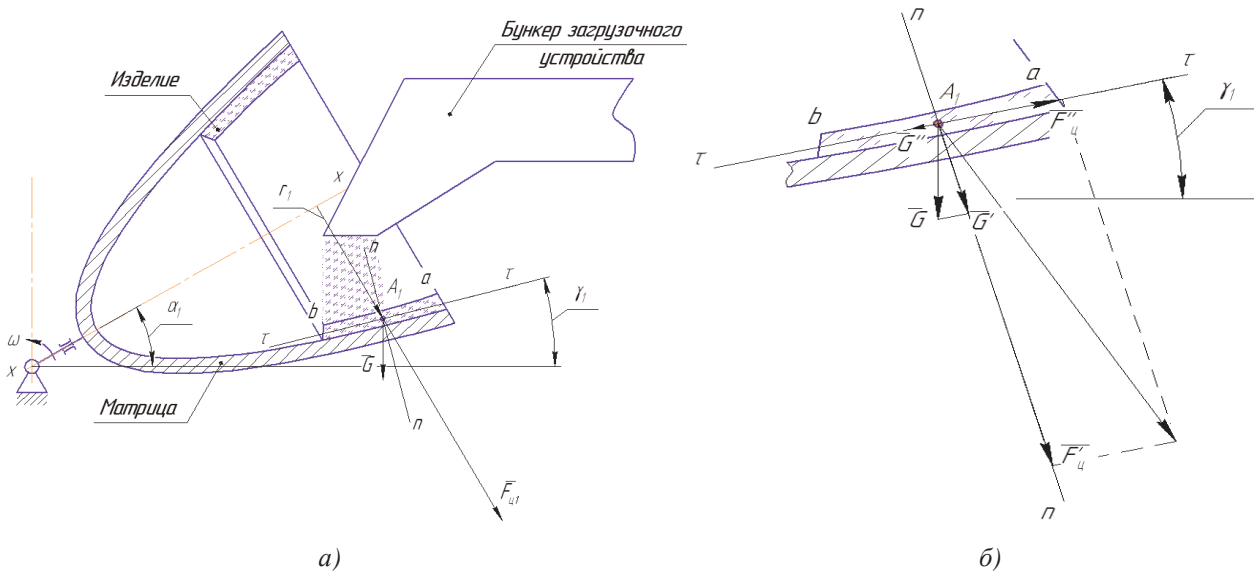


Рис. 9. Нагрузочная схема для положения I при  $\omega_R = 30 \text{ с}^{-1}$ : а) – без учета масштаба; б) – в масштабе

### Выводы

Данный способ загрузки порошкового материала позволяет получить изделия с равномерной и с заданной плотностью, а также многослойных, со сложной формой поверхности [5]. Равномерность действия центробежных сил может обеспечить удержание и уплотнение порошка на внутренней поверхности вращающейся формы, а степень уплотнения порошка будет регулируемой за счет предварительного равномерного распределения порошка по контуру. Сочетание центробежного формования порошка во вращающейся матрице с его уплотнением формирующим элементом позволяет получить изделия типа тел вращения – полые, глухие с одной стороны, с управляемой плотностью, одно- и многослойные, а также сложной формы.

### Литература

1. Ложечников Е.Б. Прокатка в порошковой металлургии. М.: Металлургия, 1987. 185 с.

### References

2. Петров Н.П., Янюшкин А.С., Григорьев В.С., Мразов Ю.Г. Объемно-напряженное состояние частицы порошка при центробежном формировании с вертикальным положением матрицы // Механика – XXI века. 2012. С. 212-215.  
 3. Лобанов Д.В., Янюшкин А.С., Рычков Д.А., Петров Н.П. Организация инструментального хозяйства при обработке композиционных материалов // СТИН. 2010. № 11. С. 2-4.  
 4. Янюшкин А.С., Петров Н.П., Мразов Ю.Г., Петров Е.Г., Анашкин И.Е. Устройство для центробежного формования изделий из порошковых материалов: пат. 2457922, Рос. Федерация. № 2011104554/02; заявл. 08.02.11; опубл. 10.08.12. Бюл. 22. 10 с.  
 5. Янюшкин А.С., Попов В.Ю., Петров Н.П. Технология высокоточной обработки инструментальных, труднообрабатываемых композиционных и наноструктурных материалов // Труды 4-го международного симпозиума по транспортной триботехнике «ТРАНСТРИБО-2010». СПб.: Изд-во ЛОМО-Инфраспек. 2010. С. 224-230.

1. Lozhechnikov E.B. Rolling in a powder metallurgy. M.: Metallurgiya, 1987. 185 p.



2. Petrov N.P., Yanyushkin A.S., Grigor'ev V.S., Mrazov Yu.G. A volume tension of a particle of a dust at centrifugal shaping with the vertical provision of a die // *Mekhaniki – XXI vek*. 2012. P. 212-215.

3. Lobanov D.V., Yanyushkin A.S., Rychkov D.A., Petrov N.P. Architecture of a toolhouse economy when handling composite materials // *STIN*. 2010. № 11. P. 2-4.

4. Yanyushkin A.S., Petrov N.P., Mrazov Yu.G., Petrov E.G., Anaskin I.E. The device for centrifugal shaping of articles from

powdered Materials: pat. 2457922, Rus. Federation. № 2011104554/02; decl. 08.02.11; publ. 10.08.12, 6 p.

5. Yanyushkin A.S., Popov V.Yu., Petrov N.P. Technique of high-precision handling of toolhouse, intractable composite and nanostructural materials // *Trudy IV mezhdunar. simpoziuma po transportnoi tribotekhnike «TRANSTRIBO-2010»*. SPb.: Izd-vo LOMO-Infraspek, 2010. P. 224-230.

УДК 621.623.025

## Контактные процессы при алмазной обработке инструментальных материалов

В.Ю. Попов<sup>a</sup>, А.С. Янюшкин<sup>b</sup>, О.И. Медведева<sup>c</sup>, В.Ю. Скиба<sup>d</sup>

Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия

<sup>a</sup>berkutoff@rambler.ru, <sup>b</sup>yanyushkin@brstu.ru, <sup>c</sup>m.olgai@yandex.ru, <sup>d</sup>skeeba\_vadim@mail.ru

Статья поступила 03.06.2014, принята 03.08.2014

*Данная работа направлена на повышение производительности и экономичности процесса шлифования и затачивания на базе исследования условий контактного взаимодействия отдельно взятого абразивного зерна и поверхности круга с различными обрабатываемыми материалами, прежде всего с инструментальными быстрорежущими сталями, твердыми сплавами и современными наноматериалами. В статье рассмотрены вопросы, связанные с проблемой обрабатываемости инструментальных сталей, которые все еще широко распространены при изготовлении металлорежущих и деревообрабатывающих инструментов. Обладая рядом достоинств, они имеют и серьезные недостатки – повышенную склонность к обезуглероживанию и довольно высокую чувствительность к перегреву, что снижает их износостойкость. Центральное место в статье занимают вопросы потери работоспособности алмазных кругов и обрабатываемости инструментальных материалов, от решения которых зависят качество и эксплуатационные свойства машиностроительной продукции. В последние годы изучению этих процессов посвящено значительное количество исследований, но лишь отдельные работы содержат данные на микро- и субмикроровнях.*

**Ключевые слова:** быстрорежущие стали, шлифование, алмазные круги, металлическая связка, комбинированная электроалмазная обработка, инструментальные материалы, адгезионно-диффузионные явления, засаливание.

## Contact processes in diamond processing of tool materials

V.Y. Popov<sup>a</sup>, A.S. Yanyushkin<sup>b</sup>, O.I. Medvedeva<sup>c</sup>, Skeeba V.Y.<sup>d</sup>

Bratsk State University, 40 Makarenko str., Bratsk, Russia

<sup>a</sup>berkutoff@rambler.ru, <sup>b</sup>yanyushkin@brstu.ru, <sup>c</sup>m.olgai@yandex.ru, <sup>d</sup>skeeba\_vadim@mail.ru

Received 03.06.2014, accepted 03.08.2014

*This work is aimed at increasing the productivity and efficiency of the process of grinding and sharpening based on the study of the conditions of contact interaction of a single abrasive grain and the surface of the circle with different materials processed primarily with tool high-speed steels, hard alloys and advanced nanomaterials. The article discusses some issues related to the problem of processibility of tool steels, which are still widely used when produce metal-cutting and woodworking tools. With a number of advantages, they have serious disadvantages such as increased susceptibility to decarburization and quite high sensitivity to overheating which reduce their wear resistance. The problem of loss of workability of diamond circles and processibility of tool materials takes central place in the article. The solution of the problem influences on the quality and performance of the machine-building products. A considerable amount of research is devoted to the study of these processes, but only a few papers contain data on the micro- and sub-microlevels.*

**Keywords:** high-speed steels, grinding, diamond circles, metal bond, combined electric and diamond processing, tool materials, adhesive and diffusion phenomena.

**Введение.** Представление различных авторов о природе дефектного слоя, образующегося в процессе алмазной обработки, известного под названием белого

слоя, весьма противоречивы [1 – 4]. Согласно мнению одних исследователей он состоит из безигольчатого