

УДК 621.921

Связь ширины зерен шлифовальных порошков из карбида кремния черного с размерами ячеек контрольных сит

В.А. Носенко, А.А. Александров

ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет», 404121, Волжский, Волгоградская обл., Российская Федерация, Энгельса ул., д. 42а

The relationship between the grain width of black silicon carbide grinding powder and the test sieve mesh size

V.A. Nosenko, A.A. Aleksandrov

Volzhsky Polytechnical Institute (Branch), Volgogradsky State Technical University, 404121, Volzhsky, Volgogradskaya Obl., Russian Federation, Engels St., Bldg. 42a



e-mail: nosenko@volpi.ru, alexalexal2011@yandex.ru

i Исследование морфологии абразивных материалов — актуальная задача, поскольку форма и размеры абразивных зерен влияют на процесс абразивной обработки и качество обработанной поверхности. Классификация шлифовальных порошков по зерновому составу осуществляется рассевом на ситах. При этом основным геометрическим параметром разделения зерен является их ширина. Рассмотрена взаимосвязь между размерами ячеек контрольных сит и средней шириной зерен остатков шлифовальных порошков из карбида кремния черного зернистостью F36–F180 на контрольных ситах при расसेве. Установлено, что в каждой зернистости взаимосвязь средних размеров ширины зерен с размером ячеек контрольных сит описывается полиномом 2-й степени. При определении взаимосвязи между всеми средними размерами ширины зерен и размерами ячеек контрольных сит из общей закономерности выпадают средние размеры остатков шлифовальных порошков на втором контрольном сите, что объясняется условиями их формирования. При исключении этих данных из общей выборки взаимосвязь между средней шириной зерен остатков на ситах и размером ячеек контрольных сит описывается прямой пропорциональной зависимостью. Полученные функциональные зависимости могут быть использованы для определения средней ширины зерен шлифовальных порошков при расसेве на контрольных ситах по ГОСТ Р 52381.

Ключевые слова: шлифовальный порошок, карбид кремния, ширина зерна, размер ячейки сита.

i The study of the morphology of abrasive materials should be considered an urgent task because the shape and size of the abrasive grains affect the process of abrasion and surface quality. Grinding powders are graded using sieve analysis, with the grain width being the main geometrical parameter for grain separation. The paper describes the relationship between the test sieve mesh size and the average grain width of the grinding powder (black silicon carbide grit F36–F180) retained on the test sieve after sieving. It is established that for each grit the relationship between the average grain width and the test sieve mesh size is described by a second degree polynomial. When determining the relationship between all the average sizes of the grain width and the test sieve mesh sizes it became clear that the average sizes of the particles retained on the second test sieve do not follow the general rules, which

can be explained by the conditions of their formation. If this data is excluded from the total sample, the relationship between the average width of the grains retained on the sieves and the test sieve mesh size can be described as directly proportional. The obtained functional relationships can be used for determining the average grain width when performing sieve analysis according to the GOST P 52381 standard.

Keywords: grinding powder, silicon carbide, grain width, mesh size.

В соответствии с ГОСТ Р 52381 контроль зернистости и зернового состава шлифовальных порошков осуществляется методом рассева на контрольных ситах. Ячейки верхнего и нижнего сит, по сути, выполняют функцию предельного калибра, формирующего ширину зерна b .

Через ячейку сита зерно проходит различным образом, в том числе и по диагонали ячейки. Поэтому наибольшая ширина зерен b_{\max} шлифовальных порошков, задерживаемая нижним контрольным ситом, может существенно превышать размер ячейки проходного сита. Например, для алмазного шлифовального порошка

$$b_{\max} = \eta W,$$

где η — коэффициент пропорциональности, $\eta = 1,43 \dots 1,64$ [1]; W — размер ячейки верхнего сита.

Для алмазных порошков АС4–АС65 (ГОСТ 9206) взаимосвязь размера ячейки W задерживающего сита с шириной и средней толщиной зерна определяется формулой [2]

$$W = 0,4358b\sqrt{2[1+(h/b)^2]}.$$

При воздушной классификации микрошлифопорошков из карбида кремния зеленого зернистостью М14–М40 получена следующая корреляционная зависимость между средними значениями ширины зерен b и нижним размером ширины зерен основной фракции Z по ГОСТ 3647: $b = 0,67Z$, коэффициент достоверности аппроксимации $R^2 = 0,98$ [3, 4].

Изучение морфологии абразивных материалов следует считать актуальной задачей, поскольку форма и размеры абразивных зерен влияют на процесс абразивной обработки и качество обработанной поверхности. Тем не менее в научной литературе описано недостаточно исследований, в которых рассмотрена морфология шлифовальных порошков в широком диапазоне зернистостей с учетом влияния отсева на фракции.

Цель работы — исследование взаимосвязи между шириной зерен шлифовальных порош-

ков из карбида кремния черного 54С в диапазоне зернистостей F180–F36, классифицированных по зерновому составу на контрольных ситах.

Контроль зернового состава заключается в определении содержания остатков шлифовального порошка в массовом выражении Q_i на каждом из контрольных сит и поддоне при отсеиве (i — номер сита, $i = 1 \dots 5$, Q_6 — остаток на поддоне). Номинальный размер ячеек контрольных сит для каждой зернистости приведен в ГОСТ Р 52381.

Для исследования по размерам сторон ячейки в порядке убывания (сверху вниз) был собран набор из пяти сит, который устанавливали в машину для встряхивания. На первое сито высыпали пробу шлифовального порошка, подготовленную в соответствии с ГОСТ Р 52381, и включали машину для встряхивания. Продолжительность встряхивания, равную 5 мин, устанавливали на реле времени. Шлифовальный порошок, оставшийся на каждом из сит и поддоне после отсеива, взвешивали и определяли процентное содержание остатка на каждом сите и поддоне. Установлено, что зерновой состав каждой зернистости соответствует требованиям ГОСТ Р 52381 (табл. 1).

Шлифовальный порошок, оставшийся на ситах или поддоне после отсеива, представляет собой зерна, размеры которых должны находиться в установленном интервале, определяемом размерами ячеек верхнего и нижнего сит (остатки Q_2 – Q_5), только нижнего (остаток Q_1) или только верхнего (остаток Q_6) сита.

Ширину зерен b определяли как сумму величин двух перпендикуляров, построенных от вектора длины зерна к максимально удаленным точкам с каждой стороны профиля. Измерения осуществляли фотометрическим способом с использованием специально разработанного программного обеспечения [5]. Количество зерен в выборках составляло 700...1 500 шт. Методика отбора пробы и измерения ширины зерен приведена в работах [6–9]. Погрешность определения ширины зерна составляет 3...5 %. Погрешность определения среднего значения ширины зерен в выборке не превышает 7 %.

Таблица 1

Размеры ячейки верхнего контрольного сита W_1 , средние значения ширины зерен b остатков и массовая доля остатков γ по ГОСТ Р 52381

Зернистость	Параметры	Остаток на ситах и поддоне				
		Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₅	Q ₆
F36	γ , %	7	57	33	2	1
	W , мкм	800	600	500	425	355
	b , мкм	764	694	610	531	407
F46	γ , %	1	68	27	1	—
	W , мкм	600	425	355	300	250
	b , мкм	546	482	425	371	—
F60	γ , %	12	59	26	2,5	0,5
	W , мкм	425	300	250	212	180
	b , мкм	376	344	295	251	204
F70	γ , %	14	58	26	1	1
	W , мкм	355	250	212	180	150
	b , мкм	301	275	265	228	180
F90	γ , %	4	40	49	6	1
	W , мкм	250	180	150	125	106
	b , мкм	226	200	180	161	130
F120	γ , %	10	54	25	10	1
	W , мкм	180	125	106	90	63
	b , мкм	163	141	122	114	61
F180	γ , %	2	23	39	16	20
	W , мкм	125	90	75	63	53
	b , мкм	117	104	87	72	58

Из анализа результатов измерений, представленных в табл. 1, следует, что средние размеры выборок зерен b остатков на одинаковых по размеру ячейки ситах могут существенно отличаться. Например, размер ячейки проходного сита остатка Q_3 зернистости F36 и Q_2 зернистости F46 равен 600 мкм, а средние значения ширины зерен $b(Q_2 F46)$ и $b(Q_3 F36)$ отличаются значимо и равны соответственно 546 и 694 мкм. То же можно сказать и в отношении следующих пар: $Q_2 F60$ и $Q_3 F46$, $Q_2 F90$ и $Q_3 F70$, $Q_2 F120$ и $Q_3 F90$, $Q_2 F180$ и $Q_3 F120$.

Одной из причин значимого отличия выборок зерен b являются неодинаковые размеры ячейки нижнего задерживающего сита. В рассматриваемых выборках зерен нижнее контрольное сито остатка Q_2 при расसेве, например, зернистости F46 имеет размер ячейки

425 мкм, а нижнее контрольное сито остатка Q_3 зернистости F36 — 500 мкм. В результате остаток, формируемый на сите с более мелкой ячейкой, будет содержать и более мелкие зерна. При прочих равных условиях этот факт должен привести к уменьшению среднего размера ширины зерна, что и наблюдается в действительности: с уменьшением размера ячейки нижнего непроходного сита с 500 до 425 мкм, или в 1,18 раза, а $b(Q_2 F46)$ по сравнению с $b(Q_3 F36)$ снизилась в 1,27 раза.

Нижнее контрольное сито остатка Q_3 при расसेве зернистости F46 имеет размер ячейки 355 мкм, а нижнее контрольное сито остатка Q_2 зернистости F60 — 300 мкм. Размер ячейки нижнего непроходного сита уменьшился в 1,18 раз, а средняя ширина зерна — в 1,28 раза с 482 до 376 мкм. Подобные закономерности наблюдаются и при сравнении остальных пар.

Во всех рассмотренных примерах средняя ширина зерен уменьшается более существенно, чем размер ячейки нижнего контрольного сита.

На столь значительное снижение b оказывает влияние еще один фактор, заложенный в ГОСТ Р 52381. При рассеве на контрольных ситах шлифовальных порошков любой зернистости через первое контрольное сито должна пройти без остатка вся масса анализируемой пробы. Как показал контрольный рассев семи рассмотренных зернистостей, все они удовлетворяют требованиям стандарта (см. табл. 1). Из этого следует, что условия формирования остатка на втором сите отличаются от условий формирования остатков на остальных ситах: при отсеве пробы Q_2 на верхнем контрольном сите с размером ячейки W_1 согласно ГОСТ Р 52381 не должно быть остатка зерен. На всех остальных ситах остаток присутствует. Гарантированно обеспечить выполнение требований стандарта можно только в том случае, если остаток, формируемый на втором контрольном сите, не будет содержать зерен крупного размера. В результате остаток Q_2 , по сравнению с остатками на лежащих ниже контрольных ситах, будет обеднен зернами крупных размеров, что дополнительно к первому фактору снижает средний размер ширины зерен выборки.

Таким образом, средний размер ширины зерен остатка Q_2 всегда меньше ширины зерен остатка Q_3 большей зернистости, поскольку всегда действуют два фактора, снижающие размер зерен остатка Q_2 большей зернистости: во-первых, остаток Q_2 оседает на сите с более мелкой ячейкой, чем остаток Q_3 ; во-вторых, соглас-

но ГОСТ Р 52381 через первое контрольное сито должна пройти без остатка вся масса шлифовального порошка, что обеспечивается гарантированным отсутствием крупных зерен, дополнительно снижающих среднюю ширину зерен.

Условиями формирования отличается и остаток Q_6 — он не имеет непроходного сита, так как формируется просевом через сито № 5 и собирается на поддоне.

На рис. 1, а представлены закономерности изменения среднего размера ширины зерна в остатках каждой зернистости в зависимости от размера ячейки верхнего сита. Установлено, что с коэффициентом достоверности аппроксимации $R^2 \geq 0,99$ графические данные описываются полиномом 2-й степени:

$$b = -aW_b^2 + bW_b - c, \quad (1)$$

где b — средний размер ширины зерен остатка Q_6 ; W_b — размер ячейки верхнего проходного сита; a , b и c — постоянные коэффициенты, зависящие от зернистости шлифовального порошка (табл. 2).

Если не рассматривать средние размеры ширины зерен остатка Q_2 , (см. рис. а) можно предположить, что остальные средние размеры будут подчиняться прямой пропорциональной зависимости от размера ячейки верхнего сита даже с учетом среднего размера зерен остатка Q_6 , также отличающегося условиями формирования.

Все экспериментальные данные без средней ширины зерен остатков Q_2 были объединены в одну выборку и аппроксимированы прямой пропорциональной зависимостью (рис. 1, б):

$$b = 1,18W_b; \quad R^2 = 0,99; \quad S^2 = 154 \text{ мкм}^2, \quad (2)$$

где S^2 — дисперсия неадекватности.

Таблица 2

Коэффициенты полинома (1)

Зернистость	Коэффициент полинома		
	$a, \text{ мкм}^{-1}$	b	$c, \text{ мкм}$
F36	0,0019	2,99	408
F46	0,0017	2,14	115
F60	0,0036	2,89	200
F70	0,0042	2,69	124
F90	0,0041	2,09	41
F120	0,008	2,79	80
F180	0,0113	2,85	62

Учитывая, что условия формирования остатка Q_6 отличаются от остальных, средние арифметические значения ширины зерен остатка Q_6 были также исключены из общей выборки. В результате аппроксимации получена зависимость, практически не отличающаяся от (2):

$$b = 1,19W_b; \quad R^2 = 0,99; \quad S^2 = 188 \text{ мкм}^2. \quad (3)$$

Дисперсии неадекватности зависимостей (2) и (3) можно считать однородными, так как их отношение меньше табличного значения критерия Фишера:

$$S_{\max}^2 : S_{\min}^2 = 188:154=1,22; \quad F(\alpha; f_1; f_2)=1,98,$$

где $\alpha = 0,05$ — уровень значимости; f_1 — степень свободы большей дисперсии, $f_1 = 26$; f_2 — степень свободы меньшей дисперсии, $f_2 = 21$.

Отсюда следует, что достоверность аппроксимации формулами (2) и (3) можно считать одинаковой.

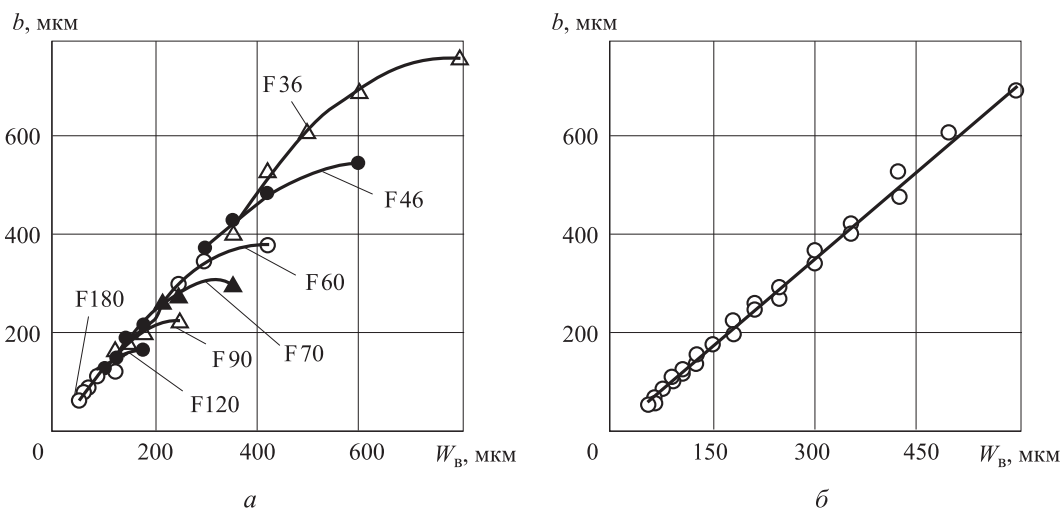


Рис. 1. Связь между b и W_b для зернистостей F36–F180:

a — аппроксимация для каждой зернистости в отдельности; b — аппроксимация по всем зернистостям

Количество знаков после запятой в коэффициенте пропорциональности определяли методом дисперсионного анализа. Значение коэффициента последовательно округляли, начиная с 4-го знака после запятой, рассчитывая каждый раз дисперсию неадекватности и сопоставляя ее с первоначальной по критерию Фишера. Установлено, что дисперсии можно считать однородными при коэффициенте пропорциональности до 2-го знака после запятой, что и отражено в формулах (2) и (3).

Рисунок 1, b был перестроен в зависимости от размера ячейки нижнего сита $W_{н}$, среднего арифметического $W_{с.а}$ и среднего геометрического $W_{с.г}$ значения размеров ячеек верхнего и нижнего сит. Данные аппроксимированы прямыми пропорциональными зависимостями:

$$\begin{aligned} b &= 1,41 W_{н}, \quad R^2 = 0,99, \quad S^2 = 207 \text{ мкм}^2; \\ b &= 1,29 W_{с.а}, \quad R^2 = 0,99, \quad S^2 = 189 \text{ мкм}^2; \\ b &= 1,30 W_{с.г}, \quad R^2 = 0,99, \quad S^2 = 193 \text{ мкм}^2. \end{aligned} \quad (4)$$

Сравнение дисперсий неадекватности, полученных в формулах (4) также свидетельствует об их однородности, т. е. адекватность описания представленными формулами зависимости средней ширины зерна от соответствующего размера ячейки сита можно считать одинаковой.

Следует отметить, что использование параметров $W_{н}$, $W_{с.а}$ и $W_{с.г}$ сокращает объем выборки данных, поскольку остаток Q_6 не имеет нижнего сита.

Выводы

1. Изменение среднего размера ширины зерна в остатках каждой зернистости при расसेве на контрольных ситах по ГОСТ Р 52381 в зависимости от размера ячейки верхнего сита с коэффициентом достоверности аппроксимации не менее 0,99 описывается полиномом 2-й степени: $b = -aW_{в}^2 + bW_{в} - c$, где b — средний размер ширины зерен остатка; $W_{в}$ — размер ячейки верхнего проходного сита; a , b и c — постоянные коэффициенты, зависящие от зернистости шлифовального порошка.

2. Связь между средней шириной зерна остатков на всех ситах и поддоне, кроме 2-го сита, и размером ячейки контрольного сита описывается прямой пропорциональной зависимостью. Достоверность аппроксимации при использовании размеров верхнего или нижнего сита, их среднего арифметического или среднего геометрического приблизительно одинаковая.

Литература

- [1] Бакуль В.Н. Число зерен в одном карате – одна из важнейших характеристик алмазного порошка. *Синтетические алмазы*, 1976, № 4, с. 22–27.
- [2] Никитин Ю.И., Уман С.М., Ярославская С.С. Исследование процессов ситовой классификации микропорошков из синтетических алмазов. *Сверхтвердые материалы*, 1988, № 6, с. 21–24.
- [3] Носенко В.А., Макушкин И.А., Шегай А.А. Статистические параметры геометрических размеров зерен микрошлифпорошков карбида кремния. *Известия ВолгГТУ. Сер. Прогрессивные технологии в машиностроении*, 2011, № 13, с. 32–34.
- [4] Носенко В.А., Носенко С.В. *Технология шлифования*. Волгоград, ВПИ (филиал) ВолгГТУ, 2011. 424 с.
- [5] Носенко В.А., Рыбанов А.А., Макушкин И.А., Шегай А.А., Букштанович К.А. *Программа для автоматизированного определения геометрических параметров шлифовального зерна по фотографии «Зерно НМ ВПИ»*. Св-во о гос. регистр. программы для ЭВМ № 2011610144, 11 января 2011. РФ, ВолгГТУ.
- [6] Носенко В.А., Александров А.А. Определение геометрических параметров абразивных зерен. *Инновационные технологии в обучении и производстве: материалы VIII Всерос. науч.-практ. конф., г. Камышин, 23–25 ноября 2011*. В 3 т. Т. 2. Волгоград, КТИ (филиал) ВолгГТУ, 2012, с. 110–113.
- [7] Носенко В.А., Александров А.А. Корреляция геометрических параметров зерен в пробах шлифовального порошка из карбида кремния черного марки 54CF60. *Материалы Междунар. науч.-техн. конф. Брянск, 2014 г.* Брянск, НДМ, 2014, с. 3–7.
- [8] Носенко В.А., Александров А.А. Взаимосвязь между геометрическими параметрами зерен шлифовального порошка и размером ячеек контрольных сит. *Известия Кабардино-Балкарского государственного университета*, 2013, т. III, № 6, с. 54–56.

- [9] Носенко В.А., Александров А.А., Ганшу Е.Ф. Геометрические параметры зерен шлифовального порошка карбида кремния черного 54CF60 производства Волжского абразивного завода. *Современные проблемы науки и образования*, 2014, № 3. URL: <http://www.science-education.ru/117-12798> (дата обращения 1 апреля 2015).

References

- [1] Bakul' V.N. Chislo zeren v odnom karate — odna iz vazhneishikh kharakteristik almaznogo poroshka [The number of grains in a karate — one of the most important characteristics of diamond powder]. *Sinteticheskie almazy* [Synthetic diamonds]. 1976, no. 4, pp. 22–27.
- [2] Nikitin Iu.I., Uman S.M., Iaroslavskaja S.S. Issledovanie protsessov sitovoi klassifikatsii mikroporoshkov iz sinteticheskikh almazov [Investigation of processes sieve classification micropowders of synthetic diamonds]. *Sverkhverdye materialy* [Journal of Superhard Materials]. 1988, no. 6, pp. 21–24.
- [3] Nosenko V.A., Makushkin I.A., Shegai A.A. Statisticheskie parametry geometricheskikh razmerov zeren mikroshlifporoshkov karbida kremniia [Statistical parameters of the geometric dimensions of the grains of silicon carbide powders microsection]. *Izvestiia VolgGTU. Ser. Progressivnye tekhnologii v mashinostroenii* [Proceedings VSTU. Ser. Advanced technologies in engineering] 2011, no. 13, pp. 32–34.
- [4] Nosenko V.A., Nosenko S.V. *Tekhnologiya shlifovaniia* [Grinding Technology]. Volgograd, VPI (filial) VolgGTU publ., 2011. 424 p.
- [5] Nosenko V.A., Rybanov A.A., Makushkin I.A., Shegai A.A., Bukshtanovich K.A. *Programma dlia avtomatizirovannogo opredeleniia geometricheskikh parametrov shlifoval'nogo zerna po fotografii «Zerno NM VPI»* [The program for the automated determination of the geometric parameters of the grinding grain for photos «Grain NM FS»]. Certificate of state registration of the computer no. 2011610144, 11 January 2011. RF, VolgGTU.
- [6] Nosenko V.A., Aleksandrov A.A. Opredelenie geometricheskikh parametrov abrazivnykh zeren [Determining geometrical parameters of the abrasive grains]. *Innovatsionnye tekhnologii v obuchenii i proizvodstve: materialy 8 vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Kamyshin, 23–25 noiabria 2011* [Innovative technologies in teaching and production: Materials 8 All-Russian scientific-practical conference, Kamyshin, 23–25 November 2011]. In 3 vol. Vol. 2. Volgograd, KTI (filial) VolgGTU publ., 2012, pp. 110–113.
- [7] Nosenko V.A., Aleksandrov A.A. Korreliatsiia geometricheskikh parametrov zeren v probakh shlifoval'nogo poroshka iz karbida kremniia chernogo marki 54SF60 [The correlation of geometric parameters of the grinding grains in the powder samples of silicon carbide 54SF60 black mark]. *Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnikheskoi konferentsii (Briansk, 2014 g.)* [Proceedings of the International Scientific and Technical Conference (Bryansk, 2014)]. Briansk, NDM publ., 2014, pp. 3–7.
- [8] Nosenko V.A., Aleksandrov A.A. Vzaimosviaz' mezhdu geometricheskimi parametrami zeren shlifoval'nogo poroshka i razmerom iacheek kontrol'nykh sit [Relationship between geometrical parameters of grains in grinding powder and cell size of test sieves]. *Izvestiia Kabardino-Balkarskogo gosudarstvennogo universiteta* [Proceeding of the Kabardino-Balkarian State University] 2013, vol. III, no. 6, pp. 54–56.
- [9] Nosenko V.A., Aleksandrov A.A., Ganshu E.F. Geometricheskie parametry zeren shlifoval'nogo poroshka karbida kremniia chernogo 54CF60 proizvodstva Volzhskogo abrazivnogo zavoda [Grain geometric parameters of grinding powders of black silicon carbide 54cf60 produced by Volzhsky abrasive plant]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia* [Modern problems of science and education]. 2014, no. 3. Available at: <http://www.science-education.ru/117-12798> (accessed 1 April 2015).

Информация об авторах

НОСЕНКО Владимир Андреевич (Волжский) — доктор технических наук, профессор, зам. директора по учебной работе, зав. кафедрой «Технология и оборудование машиностроительных производств». Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет» (404121, Волжский, Волгоградская обл., Российская Федерация, Энгельса ул., д. 42а, e-mail: nosenko@volpi.ru).

АЛЕКСАНДРОВ Алексей Александрович (Волжский) — аспирант кафедры «Технология и оборудование машиностроительных производств». Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет» (404121, Волжский, Волгоградская обл., Российская Федерация, Энгельса ул., д. 42а, e-mail: alexalexal2011@yandex.ru).

Information about the authors

NOSENKO Vladimir Andreevich (Volzhsky) — Doctor of Science (Eng.), Professor, Deputy Director for Teaching and Learning, Head of Department of Technology and Equipment of Machine Building Manufacturing. Volzhsky Polytechnical Institute (Branch), Volgogradsky State Technical University (404121, Volzhsky, Volgogradskaya Obl., Russian Federation, Engels St., Bldg. 42 a, email: nosenko@volpi.ru).

ALEKSANDROV Aleksey Aleksandrovich (Volzhsky) — Postgraduate, Department of Technology and Equipment of Machine Building Production. Volzhsky Polytechnical Institute (Branch), Volgogradsky State Technical University (404121, Volzhsky, Volgogradskaya Obl., Russian Federation, Engels St., Bldg. 42a, email: alexalexal2011@yandex.ru).



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана
вышло в свет 2-е издание монографии
В.И. Ванько

Очерки об устойчивости элементов конструкций

Книга написана на основе исследований, проведенных автором лично и в соавторстве; сюда вошли также некоторые материалы спецкурса, читаемого студентам старших курсов факультета «Фундаментальные науки» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Рассматриваются классические задачи о продольном изгибе упругопластического стержня; вводится понятие о корректности квазистатической постановки и выводится достаточное условие: постановка корректна, пока жесткость на изгиб наиболее нагружаемого изгибающим моментом поперечного сечения не станет меньше приложенной продольной силы (в безразмерных параметрах).

На основе кинематической схемы, разработанной совместно с С.А. Шестериковым, изучаются большие перемещения (вплоть до полного сплющивания) точек срединной поверхности цилиндрических оболочек (бесконечно длинных и конечной длины) под действием внешнего гидростатического давления. Для всех рассматриваемых постановок выводятся приближенные (асимптотические) формулы.

При изучении плоскопараллельных движений с тремя степенями свободы показано, что аэродинамическая неустойчивость есть неустойчивость по Ляпунову положений равновесия профиля. Полученное достаточное условие, так же как и классическое, инвариантно относительно механических свойств конструкции. Приводятся многочисленные приложения упомянутых исследований.

По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;
press@bmstu.ru; www.baumanpress.ru