

УДК 621.92

Выявление взаимосвязей физико-механических свойств материала заготовки и параметров процесса обработки свободным абразивом

Воровская Ядвига Олеговна

vyao21t226@student.bmstu.ru

Акулиничев Павел Дмитриевич

aka111996@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

***Аннотация.** Данная статья посвящена выявлению взаимосвязей физико-механических свойств материала заготовки и параметров процесса обработки свободным абразивом посредством проведения литературного обзора и анализа полученной информации. Актуальность работы обуславливается относительной новизной данного метода относительно других абразивных видов и лезвийной обработки, а также недостаточной изученностью темы в специальной литературе. В ходе литературного анализа был вычленен ряд физико-механических свойств материала заготовки, оказывающих влияние на процесс обработки, а также выбраны те свойства, которые необходимо учитывать при назначении режимов обработки.*

***Ключевые слова:** финишная обработка, свободный абразив, свойства материала заготовки, галтовка, съем материала*

Identification of the interrelationships between the physico-mechanical properties of the workpiece material and the parameters of the free abrasive treatment process.

Vorovskaia Yadviga Olegovna

vyao21t226@student.bmstu.ru

Akulichev Pavel Dmitrievich

aka111996@mail.ru

BMSTU, Moscow, Russia

***Abstract.** This article is devoted to identifying the interrelationships between the physico-mechanical properties of the workpiece material and the parameters of the free abrasive treatment process through a literature review and analysis of the information obtained. The relevance of the work is determined by the relative novelty of this method relative to other abrasive types and blade processing, as well as insufficient knowledge of the topic in the specialized literature. In the course of the literature analysis, a number of physico-mechanical properties of the workpiece material that affect the processing process were identified, as well as those properties that must be taken into account when assigning processing modes.*

***Keywords:** finishing, free abrasive, material properties of the workpiece, barrel polishing, removal of the material*

Введение. Обработка свободным абразивом востребована в различных отраслях промышленности [1], где необходима обработка сложнопрофильных

поверхностей: начиная с производства деталей в автомобилестроении и заканчивая зубными протезами. На наиболее ответственные детали назначают высокие требования к точности изготовления и качеству поверхности. Анализ литературных источников показал, что в отличие от шлифования или лезвийной обработки для подбора режимов опираются только на форму заготовки и шероховатость поверхности. На эти параметры также указывают и производители абразивных материалов при выборе подходящих гранул. При этом также учитывается материал заготовки, но лишь в составе укрупненной группы (например, «цветные металлы»). Однако при назначении режимов обработки и выборе подходящего абразивного материала не учитываются физико-механические свойства материала заготовки, такие как твердость, вязкость, хрупкость материала, которые оказывают большое влияние на обрабатываемость материалов при лезвийной обработке и обработке связанными абразивами. В связи с этим возникла гипотеза, заключающаяся в том, что при обработке свободным абразивом необходимо учитывать различные физико-механические свойства материала поверхности заготовки.

Материалы и методы. Обработка свободным абразивом включает в себя различные методы: галтовка, ротационная обработка, струйно-абразивная обработка, виброабразивная обработка, турбо-абразивная обработка, обработка свободным абразивом, уплотненными инерционными силами, потоковая и буксирная галтовки [2]. Рассмотрим существующие подходы к учету материала заготовки в некоторых из этих методов обработки:

Обработка свободным абразивом. Флек А.В. и Ющенко М.Б. в своей статье рассмотрели единичное взаимодействие абразивной частицы с обрабатываемой поверхностью при галтовке [3]. Получены зависимости для определения максимальной глубины внедрения гранулы и съема металла за один удар абразивной гранулы:

$$q = 1,46 \frac{R^3}{k_R^{3/4}} (\sin \beta k_m^{0,5} \sqrt{\frac{\rho_{\text{ч}} g D_6}{\sigma_s}})^{5/2} (\text{ctg } \beta - f) \rho_d.$$

В данной зависимости фигурируют такие параметры заготовки как ρ_d — плотность материала детали, а также σ_s — предел текучести материала детали. Для проверки гипотезы авторами были проведены эксперименты, в ходе которых была подтверждена зависимость объема съема материала от σ_s : при его уменьшении объем увеличивался.

Виброгалтовка. Гранкина Д.В., Троицкий В.М., Васильева Д.К. и Матыцин А.В. рассматривают следующую модель: процесс обработки можно рассмотреть как бомбардировку шариками (в их модели) некоторого квадрата площади S [4]. В данном случае величина съема материала определяется величиной вероятности попадания пятна контакта шарика на квадрат. Вероятность определяется геометрическими параметрами пятна, величина которых зависит от таких свойств материала заготовки, как относительная деформация материала ε и коэффициент сопротивления сдвигу ξ :

$$\xi_1 - \xi_2 = \int_0^1 (f - \frac{ctg\beta - f}{\sqrt{1-\varepsilon^2}}) d\varepsilon.$$

При увеличении данных параметров съем материала шариком также будет расти.

Учебное пособие под редакцией Одинцова Л.Г. [5] по отделке поверхности поверхностным пластическим деформированием выдвигает следующую зависимость: уменьшение времени на обработку τ означает увеличение съема припуска, которое можно описать следующей формулой:

$$\tau = \frac{\pi d^2 \lambda \beta}{4 \left(\left[\frac{3}{16} P \left(\frac{(1-\mu_1)^2}{E_1} + \frac{(1-\mu_2)^2}{E_2} \right) R \right]^{1/3} \right)^2 \omega},$$

где E_1, E_2 — модули упругости; μ_1, μ_2 — коэффициенты Пуассона рабочих тел и обрабатываемых деталей соответственно, d — диаметр рабочих шаров, ω — виброускорение, λ — число повторяющихся ударов в одну точку в единицу времени, β — коэффициент, связанный с формой обрабатываемых поверхностей.

Из данной зависимости можно сделать вывод, что съем материала будет больше при уменьшении E и μ .

Буксирная галтовка. Математическая модель для буксирной галтовки, разработанная Massimiliano Barletta, G. Rubino, Pier Paolo Valentini [6]:

$$\varepsilon_c = \frac{n \cdot \rho_w \cdot C_{p-w} \cdot T_m / K^{1/(n+1)}}{C \cdot T_m},$$

где ε_c — критическая деформация для локализации пластической деформации после удара твердой частицей о поверхность заготовки; n — показатель деформационного упрочнения; ρ_w — плотность заготовки; C_{p-w} — удельная теплоемкость заготовки при постоянном давлении; T_m — температура плавления заготовки; K — коэффициент прочности материала заготовки; C — константа, которая характеризует температурную зависимость напряжения течения для материала заготовки.

Результаты. В ходе анализа было выявлено, что авторы при выведении математических моделей и проведении экспериментов включали в расчетные формулы следующие физико-механические свойства материалов заготовки: ρ — плотность материала; E — модуль упругости; μ — коэффициент Пуассона; ε — относительная деформация материала; ξ — коэффициент сопротивления сдвигу; H — твердость; σ_s — предел текучести материала детали; ε_c — критическая деформация для локализации пластической деформации после удара твердой частицей о поверхность заготовки; n — показатель деформационного упрочнения; ρ_w — плотность заготовки; C_{p-w} — удельная теплоемкость заготовки при постоянном давлении; T_m — температура плавления заготовки; K — коэффициент прочности материала заготовки; C — константа, которая характеризует температурную зависимость напряжения течения для материала заготовки.

Обсуждение. В результате проведенного анализа можно увидеть, что большинство статей, включающих в расчет свойства материала заготовки, никак не связывают их в дальнейшем с выбором абразивного материала или назначением режимов. Также видно, что не все из этих свойств целесообразно контролировать в производстве, так как некоторые специфические коэффициенты нужны для анализа процесса съема материала на микроуровне. Следовательно, необходимо вычленить те из них, которые играют наибольшую роль и могут быть проконтролированы. Можно предположить, что в первую очередь это твердость поверхности и плотность самого материала, а также предел текучести материала детали, модуль упругости и коэффициент Пуассона.

Заключение. Таким образом, в результате проведения литературного обзора был выделен ряд свойств материала заготовки, влияние которых на процесс обработки свободным абразивом необходимо продолжать рассматривать в дальнейшем.

Список источников

- [1] *Индивидуальная обработка поверхностей для широкого спектра заготовок.* URL: <https://www.otec.de/ru/oblasti-primeneniya/> (дата обращения 05.09.2025).
- [2] Акулиничев П.Д. *Технологическое обеспечение качества изготовления циклоидальных винтовых поверхностей обработкой потоковой галтовкой.* Дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2024, 30 с.
- [3] Флек А.В., Ющенко М.Б. Исследование процесса съема металла при абразивной галтовке. *Вестник ДГТУ*, 2013, № 3–4, с. 72–73.
- [4] Гранкина Д.В., Троицкий В.М., Васильева Д.К., Матыцин А.В. Теоретические основы обработки строительных конструкций свободными абразивами. *Инженерный вестник Дона*, 2019, № 1.
- [5] Одинцов Л.Г. *Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: Справочник.* Москва, Машиностроение, 1987, 218 с.
- [6] Barletta M., Rubino G., Valentini P. Experimental investigation and modeling of fluidized bed assisted drag finishing according to the theory of localization of plastic deformation and energy absorption. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2014, pp. 9–12. <https://doi.org/10.1007/s00170-014-6620-y>