

производительность труда. Трактор без кабины, приборов, кондиционера, органов управления и мониторов станет дешевле и экономичнее.

### Список использованной литературы

1. Мирончук, А. А., Ганджа, Н. А. Эффективность внедрения беспилотных автомобилей в сельское хозяйство // Молодой исследователь Дона. – 2019. – № 1. – С. 64–67.

2. Марченков, Г.А. Инновационное секторальное развитие тракторостроительного комплекса в сфере применения роботизированных тракторов в сельскохозяйственном производстве // Российское предпринимательство. – 2018. – Том 19. – № 9. – С. 2465-2472.

3. Роботы идут...Роботы-тракторы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://zen.yandex.ru/media/glavpahar/roboty-idutrobotytraktory-5ea2be6352a69a0a1e733b10> – Дата доступа: 20.04.2022.

4. Шевченко, А. В., Мещеряков, Р. В., Мигачев, А.Н. Обзор состояния мирового рынка робототехники для сельского хозяйства. Ч. 1. Беспилотная агротехника // Проблемы управления. – 2019. – № 5. – С. 5–7.

5. Роботизированные трактора. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://robotrends.ru/robopeedia/robotizirovannye-traktorar> – Дата доступа: 20.04.2022.

### УДК 621.923

*Л.Е. Сергеев, канд. техн. наук, доцент, Г.А. Галенюк, ст. преподаватель, А.М. Хартанович, студент, А.В. Воронкевич, студент  
Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный  
технический университет», г. Минск*

### ВЛИЯНИЕ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ НА УСТАЛОСТНУЮ ПРОЧНОСТЬ ТИТАНА ВТЗ-1

**Ключевые слова:** резцы, свойства и износ режущего инструмента, заточка резцов, магнитно-абразивная обработка.

**Key words:** cutters, properties and wear of the cutting tool, sharpening of cutters, magnetic-abrasive processing.

**Аннотация.** Описаны основные проблема повышения надежности и износостойкости режущего инструмента.

**Abstract.** The main problem of increasing the reliability and wear resistance of the cutting tool is described.

Современный процесс развития техники определяется применением новых видов материалов, обладающих высокими твердостью, вязкостью,

магнитными свойствами, к которым относятся в том числе и титановые сплавы, что вызвано их отличительными физико-механическими характеристиками и требует специальных эффективных методов финишной обработки. Финишная абразивная обработка деталей из титана существенно затруднена из-за их самого высокого среди других металлов отношения предела текучести к пределу прочности, относительно низкой теплопроводности, высокой химической активности по отношению к газам при повышенных температурах резания, неоднородности свойств срезаемого слоя вследствие ликвидации легирующих элементов. Фазовые и структурные превращения, происходящие в поверхностных слоях титановых изделий, обусловлены действием высоких температур, образующихся в зоне контакта инструмента с деталью [1]. Существенными недостатками традиционной финишной абразивной обработки титановых сплавов является снижение микротвердости поверхностного слоя по причине теплонапряженности процесса резания. Поэтому задача аналитического расчета теплового потока, анализа температурных полей и теплового состояния поверхностей титановых сплавов, обеспечивающая возможность выбора рациональных параметров финишной обработки, является актуальной. Необходимость эффективно обрабатывать детали из материалов трудно-обрабатываемых резанием предопределила возникновение ряда новых методов. К ним относятся электрофизические и электрохимические методы обработки, одним из которых является магнитно-абразивная обработка (МАО) [2]. Информация о распределении тепловых потоков, величине и характере температурных полей в инструменте и детали является основой для осуществления рационального выбора инструмента и методов охлаждения, оптимизации процесса МАО с целью уменьшения теплового воздействия на поверхность изделия и рабочую поверхность инструмента, обеспечения требуемого качества изделий при минимальной себестоимости обработки. Установлено, что при абразивной обработке большая часть тепловой энергии, являющейся результатом резания и трения в зоне контакта инструмента с поверхностью, расходуется на нагрев поверхностных слоев изделия [3]. Воспользуемся выражением (1) для определения температурного поля в обрабатываемой детали в любой конкретный момент времени. Численные решения выполнялись с учетом следующих условий: скорость резания  $V = 1,5 \dots 2,5$  м/с; величина рабочего зазора  $\delta = 2$  мм; продольная подача  $v = 0,01 \dots 0,02$  м/с; ширина образца  $H = 0,025$  м; длина образца  $L = 0,15$  м; высота образца  $B = 0,01$  м; материал – титан VT-1. Температура окружающей среды - 20 °С; коэффициент теплопроводности воздуха  $k = 0,0279$  Вт/(м·град); числа Грасгофа и Прандтля соответственно:  $Gr = 10000$  и  $Pr = 0,71$ .

$$T_{x,y,z,t} = 32 \cdot \frac{\alpha Q}{\lambda B} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin \gamma_k \frac{L}{2} \cos \gamma_k x + k z \sin \gamma_k x}{\mu_k^2 + k^2 z^2 + \alpha^2 t} \times$$

$$\sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin \gamma_n \frac{b}{2} \left( \cos \gamma_n \cdot \left( \frac{b}{2} + Y_1 \right) + \sin \gamma_n \cdot \left( \frac{b}{2} + Y_1 \right) \right) \mu_n \cdot \cos \gamma_n \cdot y + hH \cdot \sin \gamma_n \cdot y}{\mu_n^2 + h^2 H^2 + 2hH} \times \sum_{n=1}^{\infty} \frac{F_{kmm}^1 t + F_{kmm}^2 t \mu_n \cdot \cos \gamma_n \cdot z + h \cdot B \sin \gamma_n \cdot z}{a^2 + \gamma_{kmm}^2 + \gamma_{kmm}^2 v^2 \mu_n^2 + k^2 B^2 + 2hB}, \quad (1)$$

где коэффициенты в формуле (1) определялись следующим образом:

$$F_{kmm}^1 t = a \gamma_{kmm}^2 \cos \gamma_k \cdot \left( \frac{d}{2} + vt \right) + \gamma_{kmm} v \cdot \sin \gamma_k \cdot \left( \frac{d}{2} + vt \right) - (a \gamma_{kmm}^2 \cos \gamma_k \frac{d}{2} + \gamma_{kmm} v \cdot \sin \gamma_k \cdot \frac{d}{2}) e^{-a \gamma_{kmm}^2 t}$$

$$F_{kmm}^2 t = \gamma_{kmm} v \cdot \cos \gamma_k \cdot \frac{d}{2} e^{-a \gamma_{kmm}^2 t} - \frac{h}{\gamma_k} \left[ a \gamma_{kmm}^2 \sin \gamma_k \cdot \left( \frac{d}{2} + vt \right) - \gamma_{kmm} v \cdot \cos \gamma_k \cdot \left( \frac{d}{2} + vt \right) - (a \gamma_{kmm}^2 \sin \gamma_k \frac{d}{2} - \gamma_{kmm} v \cdot \cos \gamma_k \cdot \frac{d}{2}) e^{-a \gamma_{kmm}^2 t} \right], \quad (2)$$

где  $a$  – температуропроводность детали,  $m^2/c$ ;  $\lambda$  – теплопроводность детали,  $Вт/(м \cdot град)$ ;  $L$ ,  $H$ ,  $B$  – соответственно длина, ширина и высота детали,  $м$ ;

$Q$  – плотность теплового потока;  $b$  – ширина ферроабразивной щетки,  $м$ ;

$d$  – длина пятна контакта,  $м$ ;  $Y_1$  – расстояние от края детали до пятна контакта,  $м$ ;  $v$  – продольная скорость перемещения,  $м/с$ .

Полученные результаты свидетельствуют о неравномерном распределении температур как по площади обрабатываемой поверхности, так и по глубине приповерхностного слоя исследуемого материала. Перемещение теплового источника по поверхности с температурой

$T = 20^\circ C$  сопровождается повышением температуры от максимума (соответственно  $T = 297^\circ C$ ) в зоне контакта с инструментом и последующим охлаждением до  $T = 186^\circ C$  через 5 мин. Наибольшие значения температуры нагрева приповерхностного слоя на глубине 1 мм составляют  $T = 125^\circ C$ . Установлено, что скорость взаимного перемещения детали и инструмента оказывает существенное влияние на распределение тепла в приповерхностной области. С увеличением скорости подачи до  $v = 0,02$  м/с максимум температуры смещается в сторону, противоположную направлению перемещения теплового источника. Полученные данные свидетельствуют о незначительном влиянии теплонпряженности процесса MAO на степень изменения микротвердости, значения которой составляют 3039 МПа на поверхности и 2960 МПа на глубине 15 мкм ( $P=0,1$  Н), что исключает возможность протекания структурных и фазовых превращений в приповерхностном слое, причинами которых при традиционном шлифовании кругами являются высокие температуры.

### Список использованной литературы

1. Костюк, А.Г. Паровые и газовые турбины для электростанций: учебник для вузов /А.Г. Костюк, В.В. Фролов, А.Е. Булкин – М.: Издательский дом МЭИ, 2016. – 488 с.
2. Сакулевич, Ф. Ю. Основы магнитно-абразивной обработки / Ф. Ю. Сакулевич – Мн.: Наука и техника , 1981. – 326 с.
3. Корытов, М.С. Технология конструкционных материалов: учебное пособие / М.С. Корытов, В.В. Евстифеев. – Омск: СибАДИ , 2010. – 236 с.

УДК: 338

**П.В. Герасименко**, *д-р техн. наук, профессор,*  
*ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей*  
*сообщения Императора Александра I», г. Санкт-Петербург*

### МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РИСКА НЕДОСТИЖЕНИЯ ПЛАНОВЫХ ОБЪЕМОВ ПРОИЗВОДСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

**Ключевые слова:** моделирование, прогнозирование, оценивание, регрессия, коэффициент детерминации, точечная и интервальная оценка, риск.

**Key words:** modeling, forecasting, estimation, regression, coefficient of determination, point and interval estimation, risk.

**Аннотация.** Предложена методика оценки показателя риска недостижения объема производства сельскохозяйственной продукции, выполненная с помощью математического моделирования. Методика включает моделирование и проверку модели, модельное точечное и интервальное прогнозирование, прогнозный анализ и оценку рисков. Построена математическая модель зависимости сельскохозяйственной продукции от года ее производства по выборке статистических данных Росстата с 2005 по 2020 гг. Построение модели, прогноз и оценка показателя риска выполнены с помощью ППП Excel.

**Abstract.** A method for assessing the risk indicator of failure to achieve the volume of agricultural production, performed using mathematical modeling, is proposed. The methodology includes modeling and model validation, point and interval model prediction, predictive analysis and risk assessment. A mathematical model of the dependence of agricultural products on the year of its production is built on the basis of a sample of statistical data from Rosstat from 2005 to 2020. The construction of the model, forecast and assessment of the risk index were performed using PPP Excel.