

13. Электродные материалы на основе нанокристаллических оксидов олова, марганца и кобальта / Э. В. Панов [и др.] // Вестник Харьковского национального университета. 2010. Вып. 18 (41), № 895.
14. Microstructural evolution during sintering of CoO doped SnO₂ ceramics / J. A. Varela [et al.] // Ceramics International. 1999. № 25. P. 253–256.
15. Wang B., Wuping Kong, Hongzhu Ma Electrochemical treatment of paper mill wastewater using three-dimensional electrodes with Ti/Co/SnO₂-Sb₂O₅ anode // J. of Hazardous Materials. 2007. № 146. P. 295–301.
16. Thermodynamic reassessment of the Cu-O phase diagram / L. Schramm [et al.] // J. OF PHASE EQUILIBRIA AND DIFFUSION. Vol. 26, № 6. P. 605–612.
17. Investigation of Electrical Characteristics of High Temperature Ceramic-Metal Contact Assemblages / E. I. Stepanov [et al.] // Engineering & Technologies. 2009. № 3. P. 278–282.
18. Bueno P. R., Varela J. A. Electronic Ceramics Based on Polycrystalline SnO₂, TiO₂ and (Sn_xTi_{1-x})O₂ Solid Solution // Materials Research. 2006. Vol. 9, № 3. P. 293–300.
19. Structural transformation of an alumina-supported MnO₂-CuO oxidation catalyst by hydrothermal impact of sub- and supercritical water / A. Martin [et al.] // J. Mater. Chem. 2002. № 12. P. 639–645.
20. Галлахов Ф. Я., Шервинская А. К., Петрова М. А. Диаграммы состояния систем тугоплавких оксидов : в 3 т. / Институт химии силикатов. Л. : Наука, 1987.
21. Influence of the concentration of Sb₂O₃ on the electrical properties of SnO₂ varistors / J. R. Ciorcero [et al.] // J Mater Sci: Mater Electron. 2011. № 22. P. 679–682.

S. S. Dobrosmislov, V. I. Kirko, G. E. Nagibin, O. A. Rezinkina, Z. I. Popov

FEATURES OF PHYSICAL-MECHANICAL AND HIGH-TEMPERATURE ELECTRIC PROPERTIES OF CERAMIC SEMICONDUCTOR BASED ON SnO₂ WITH MnO₂ AND CuO ADDITIVE AGENTS

Ceramic semiconductors based on SnO₂ with MnO₂ and CuO additive agents were synthesized. Synthesis temperature was 1300 and 1400 °C. Physical-mechanical and high-temperature electric properties investigation were performed. It is revealed that increase of synthesis temperature for materials with MnO₂, provides for their better agglomeration. Compositions 96 % SnO₂ – 2 % Sb₂O₃ – 2 % CuO, obtained at 1300 °C, have the best electro-physical properties. Resistance of 94 % SnO₂ – 2 % Sb₂O₃ – 2 % CuO – 2 % MnO₂ in high temperature field is 3 times higher. 96 % SnO₂ – 2 % Sb₂O₃ – 2 % MnO₂ have nonlinear current-voltage characteristic.

Keywords: ceramic, tin oxide, conductivity, current-voltage characteristic.

© Добросмыслов С. С., Кирко В. И., Нагибин Г. Е., Резинкина О. А., Попов З. И., 2012

УДК 629.7

В. В. Краев, Г. Г. Крушенко

РАСЧЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ВЫБОРА ПРИПУСКОВ НА ОБРАБОТКУ РЕЗАНИЕМ ДЕТАЛЕЙ СИЛОВЫХ АГРЕГАТОВ

Предложен расчетно-аналитический метод выбора припусков на обработку резанием стальных деталей силовых агрегатов, позволяющий уменьшить расход материала, трудоемкость изготовления деталей и износ инструмента.

Ключевые слова: обработка резанием, стальные детали, припуски.

Основным направлением развития производства силовых агрегатов летательных аппаратов является совершенствование технологии производства деталей [1]. Однако несмотря на внедрение высокопроизводительного оборудования и новых методов обработки, достаточно часто завышаются припуски на механическую обработку, что приводит к увеличению расхода материала, трудоемкости изготовления и износа инструмента. Следовательно, назначение минимально необходимого припуска на механическую обработку отдельных деталей и узлов турбонасосного агрегата (ТНА) в целом является важным направлением

в снижении общей трудоемкости изготовления двигателя.

Ротор ТНА, являясь одной из наиболее нагруженных деталей, определяет ресурс и надежность работы двигателя. Определение минимального припуска на механическую обработку вала ротора способствует как снижению трудоемкости изготовления двигателя, так и повышению его ресурса.

Как правило, припуски назначают по таблицам нормативных величин и справочной литературы. При этом не учитывается изменение параметров качества поверхностного слоя, в результате чего не всегда дос-

тигаются не только оптимальные, но и положительные качества. Нерациональное завышение припусков приводит к перерасходу материала, увеличению трудоемкости механической обработки, повышению расхода режущего инструмента и электроэнергии. Неправильное назначение припусков не обеспечивает удаление дефектных слоев металла, достижения требуемой точности и качества поверхности, при этом повышает вероятность появления брака.

Расчетно-аналитический метод определения припусков позволяет назначать минимальные припуски на операции механической обработки для обеспечения требуемой точности. В связи с этим задачей работы явилось совершенствование расчетно-аналитического метода определения припусков деталей с учетом технологической наследственности, который представляет собой систему, включающую методики обоснованного расчета припусков, увязку расчетных межоперационных припусков с предельными размерами в зависимости от геометрической точности и качества обрабатываемой поверхности, погрешности закрепления детали.

Анализ литературы [2–4] показывает, что эксплуатационные свойства деталей машин (например, вал ротора ТНА) зависят от системы параметров качества их рабочей поверхности: макроотклонения H_{\max} , H_p ; волнистости Wz , Wp , Sm_w ; шероховатости Ra , Rz , R_{\max} , Rp (максимальной высоты пика профиля), Sm , S , tp ; субшероховатости R'_{\max} , Sm' . При этом на основе анализа источников можно сделать заключение, что применяемые методы определения припусков охватывают только небольшую часть данных параметров.

Для сокращения времени и затрат на инженерные разработки целесообразно применение компьютерного проектирования с помощью CAD/CAM/CAE-систем. С условием специфичных требований к ТНА появляется возможность сократить время технологической подготовки производства, сократить время проектирования изделия, повысить качество эксплуатационных характеристик, что приведет к повышению эффективности производства и конкурентоспособности в условиях рыночной экономики.

В работе подробно представлена методика расчета припусков и допусков на механическую обработку, на базе которой разработана структурная схема и блок-схема разработанной программы. Схемы позволяют четко представлять структуру построения программы, при этом сокращается время и упрощается внесение необходимых изменений в программу.

В ходе работы программы параметры каждой операции рассчитываются методом итераций, пока не будет достигнута достаточная заданная точность обработки, используются следующие формулы [5–6].

Для расчетного припуска:

$$z_i = (Rz_{i-1} + h_{i-1}) + \sqrt{\delta_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}, \quad (1)$$

где Rz и h – параметры шероховатости на текущую операцию; δ – погрешность поверхностного слоя; ε – погрешность закрепления в приспособлении; i – номер перехода.

С учетом зависимости (1) минимальный и максимальный диаметры определяются по следующим зависимостям:

$$D_i = D_{i+1} + 2z. \quad (2)$$

$$D_{\max} = D + TD, \quad (3)$$

где TD – допуск размера по качеству, мм.

Для определения технологических параметров максимальный и минимальный допуски определяются по следующим зависимостям:

$$z_{\max} = D_{\max i-1} - D_{\max i},$$

$$z_{\min} = D_{i-1} - D_i.$$

Проверочные значения, результаты которых должны совпадать, находятся как

$$TD = TD_1 - TD_i, \quad (4)$$

$$Z = \sum_1^i z_{\max} - \sum_1^i z_{\min}. \quad (5)$$

В разработанной программе используется 25 таблиц в базе данных, обеспечивающих ее работу.

Система исходных уравнений для расчета факторов, влияющих на отклонения величины напора насоса, складывается из составляющих. Основными параметрами, влияющими на стабильность напора насоса, являются отклонения за счет изменения конструктивных параметров деталей и их взаимного положения δH_k , обусловленные конструкторской документацией на изготовление и сборку, а также отклонения за счет точности поддержания режима работы насоса $\delta H_{\text{реж}}$. Указанные отклонения регламентируются конструкторской документацией и техническими условиями на данный агрегат и определяют конструктивно-технологические факторы стабильности его производства:

$$\delta H_{\text{кт}} = \pm \sqrt{\delta^2 H_k + \delta^2 H_p}. \quad (6)$$

Методика расчета и последующий анализ влияния составляющих конструктивно-технологических факторов на стабильность параметров насоса основаны на решении уравнений, определяющих функциональную зависимость исследуемого параметра от конструктивно-технологических факторов.

Функциональная зависимость для каждого класса насосов излагается в виде конкретной формулы, учитывающей характер гидравлических потерь в проточной части насоса.

Например, анализ величины отклонений, влияющих на напор факторов [7; 8], показал, что все они имеют малые относительные значения, и уравнение отклонения напора можно представить в форме зависимости от конструктивных и режимных параметров в виде ряда влияющих факторов:

$$\delta H_{\text{кт}} = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial H}{\partial D_2} \frac{D_2}{H} \delta D_2 \right)^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial b_2} \frac{b_2}{H} \delta b_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial H}{\partial \dot{V}_2} \frac{\dot{V}_2}{H} \delta \dot{V}_2 \right)^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial \omega} \frac{\omega}{H} \delta \omega \right)^2}, \quad (7)$$

где коэффициенты влияния соответствующих факторов на изменение контролируемого параметра определяются по выражениям:

$$\begin{aligned} a_{D_2} &= \frac{\partial H}{\partial D_2} \frac{D_2}{H}, \\ a_{b_2} &= \frac{\partial H}{\partial b_2} \frac{b_2}{H} \delta b_2, \dots, a_{\dot{V}_2} = \frac{\partial H}{\partial \dot{V}_2} \frac{\dot{V}_2}{H} \delta \dot{V}_2, \\ a_{\omega} &= \left(\frac{\partial H}{\partial \omega} \frac{\omega}{H} \delta \omega \right). \end{aligned} \quad (8)$$

Система исходных уравнений для расчета отклонений контролируемых параметров и других заданных параметров насоса рассчитывается аналогичным способом. Кроме простоты анализа, полученные выражения позволяют на стадии проектирования насоса, с учетом удельного вклада каждого параметра, влияющего на стабильность характеристик, обеспечивать заданную стабильность с минимальными затратами на подготовку к производству и при выпуске продукции с учетом влияния технологического наследования.

Количественная оценка качества насосных агрегатов проводится в целях проверки ее соответствия заданным техническим заданием требованиям и получения более точных характеристик надежности ракетного комплекса. По результатам оценок надежности ТНА принимаются меры по конструкторскому, технологическому и эксплуатационному обеспечению требуемого уровня стабильности двигателя, проводится планирование затрат.

Количество выделяемых в насосном агрегате структурно-функциональных элементов устанавливается из условия максимального использования разнородной информации по испытаниям ТНА и его агрегатов с учетом количества требуемых циклов и режимов работы в составе изделия, а также физических свойств, определяющих надежность изделия.

При наличии информации по измеряемому параметру работоспособности изделия X и требований к допустимому (верхнему или нижнему) пределу изменения этого параметра используется модель «параметр – одностороннее поле допуска».

Функция надежности в этом случае имеет вид

$$\begin{aligned} P &= \Phi \left(\frac{a - m_x}{\sigma_x} \right) = \Phi(U) \\ \text{или } P &= \Phi \left(\frac{m_x - a}{\sigma_x} \right) = \Phi(U), \end{aligned}$$

где σ_x – среднеквадратичное отклонение параметра X ; $\Phi(U)$ – функция нормального распределения; m_x – математическое ожидание параметра X .

При наличии информации в виде значений измеряемого параметра X и требований к допустимым пределам изменения $a < x < b$ используется модель «параметр – двухстороннее поле допуска» [9]. Функция надежности в этом случае имеет вид:

$$P = \Phi \left(\frac{b - m_x}{\sigma_x} \right) + \Phi \left(\frac{m_x - a}{\sigma_x} \right) - 1 = \Phi(U_2) + \Phi(U_1) - 1,$$

где a – нижний допустимый предел изменения параметра; b – верхний допустимый предел изменения параметра.

Рассмотрим методологию программы технического проектирования и общий алгоритм разработки операционно-маршрутных технологических процессов обработки деталей и сборочных единиц, формирующих поточную часть насосных агрегатов.

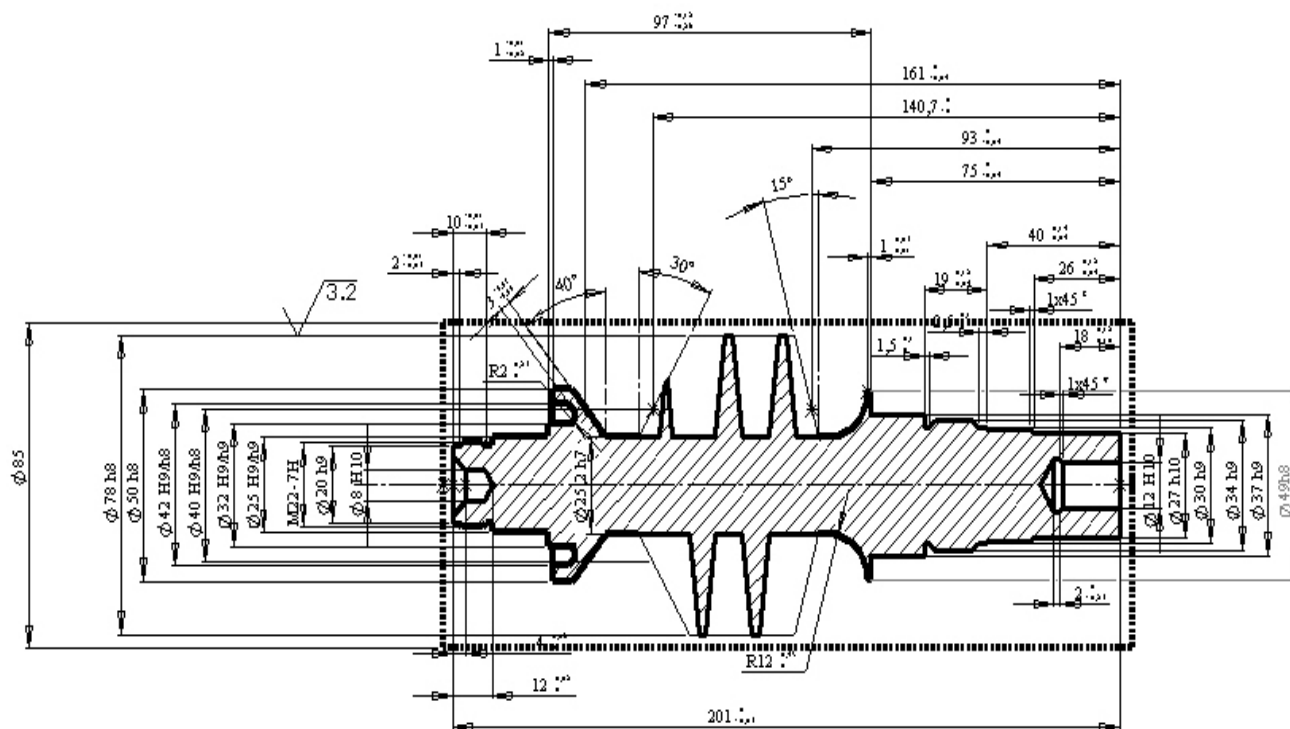
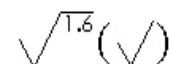
Используемая методология может быть использована в качестве универсального инструмента при анализе вновь проектируемого технологического процесса, при назначении того или иного метода обработки деталей аэрокосмического назначения с целью оценки экономичности изготовления деталей.

Анализ результатов по формированию шероховатости поверхностей при различных методах обработки [10–12] позволяет сделать вывод, что в общем случае на образование шероховатости при механической обработке влияют геометрия рабочей части инструмента и кинематики его рабочего движения относительно обрабатываемой поверхности; колебательные перемещения инструмента относительно обрабатываемой поверхности; упругие и пластические деформации обрабатываемого материала заготовки в зоне контакта с рабочим инструментом; шероховатость рабочей части инструмента; вырывы частиц обрабатываемого материала.

Наибольшее влияние на образование шероховатости оказывает подача при ее значениях $S \geq 0,08$ мм/об. При $S < 0,08$ мм/об. шероховатость определяется в основном радиусом при вершине режущего инструмента, его шероховатостью, радиусом скругления режущей кромки и физико-механическими свойствами обрабатываемого материала и материала режущей кромки инструмента. Повышение предела текучести и уменьшение сдвиговой прочности обрабатываемого материала приводят к увеличению минимально достигаемой шероховатости при лезвийной обработке. Таким образом, шаговые параметры шероховатости поверхности при лезвийной обработке в основном определяются подачей. Основная опорная длина профиля шероховатости является стабильной и практически не зависящей от режимов лезвийной обработки. В результате расчет припусков на механическую обработку сложных деталей определяется параметрами заготовки как исходными параметрами для всех операций.

К программному обеспечению предъявляются следующие требования: универсальность, точность, адекватность и экономичность.

Программа Raschet позволяет рассчитать достаточные припуски и допуски на механическую обработку с учетом технологической наследственности детали. В результате не только конструктор получает размеры и параметры заготовки, которой достаточно для получения ротора, но и технолог, в случае цельного изготовления ротора совместно с валами, получает необходимые размеры для его изготовления.



Шнек

Работа программы рассмотрена на примере шнека (см. рисунок).

Материал заготовки – 12X18H10T; КИМ не менее 0,5; масса заготовки – 10 кг; наибольший размер диаметра Φ 78h8 с шероховатостью Ra 1,6; суммарная длина – 201; общая шероховатость Ra 1,6.

Согласно программе получаем длину проката с округлением до ближайшего – 207 мм, диаметр проката – 80 мм. Исходя из размеров заготовки и марки материала, масса заготовки составляет 7,9 кг. Экономический эффект составляет 21 %. КИМ составляет 0,66 (масса детали 5,2 кг).

Таким образом, в результате проведенной работы проработан и значительно расширен расчетно-аналитический метод определения припусков на механическую обработку с учетом технологической наследственности и накопленного статистического материала и установлены механизмы их влияния на точность механической обработки. Определена значимость влияния факторов на точность обработки валов ротора ТНА. Разработаны этапы методики, которые позволяют обеспечить повышение качества валов ротора ТНА за счет обеспечения требуемой стабильности обработки и снижения трудоемкости.

Библиографические ссылки

1. Маталин А. А. Технология машиностроения. 2-е изд. СПб. : Лань, 2008.

2. Тамаркин М. А., Лебедев В. А., Гепта Д. П. Технология машиностроения. М. : Феникс, 2008.

3. Схиркладзе А. Г. Технологические процессы в машиностроении. М. : Высш. шк., 2007.

4. Виноградов В. М. Технология машиностроения. М. : Академия, 2006.

5. Холодкова А. Г. Общая технология машиностроения. М. : Академия, 2009.

6. Расчет припусков и межпереходных размеров в машиностроении / Я. М. Радкевич [и др.]. М. : Высш. шк., 2007.

7. Конструкция и проектирование жидкостных ракетных двигателей / Г. Г. Гахун [и др.]. М. : Машиностроение, 1989.

8. Присняков В. Ф. Динамика жидкостных ракетных двигательных установок. М. : Машиностроение, 1983.

9. Степнов М. Н. Статистическая обработка результатов механических испытаний. М. : Машиностроение, 1972.

10. Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных свойств деталей и их соединений / А. Г. Сулов [и др.]. М. : Машиностроение, 2006.

11. Обработка металлов резанием / Г. А. Менахов [и др.]. М. : Машиностроение, 1974.

12. Харламов Г. А., Тарапанов А. С. Припуски на механическую обработку. М. : Машиностроение, 2006.

V. V. Kraev, G. G. Krushenko

CALCULATING AND ANALYTICAL METHOD OF CHOOSING ENVELOPES OF METALL FOR PROCESSING POWER-GENERATING SET COMPONENTS BY STOCK REMOVAL

The authors propose a calculating-analytical method of choosing the envelopes of metal for processing power-generating set components by stock removal, which allows to reduce material consumption and also to reduce the labor intensiveness in production of the components and to decrease wear of tools.

Keywords: processing by stock removal, steel components, envelopes of metal.

© Краев В. В., Крушенко Г. Г., 2012

УДК 53.08:621.38

И. В. Немцев, А. В. Шабанов, О. В. Шабанова

ИССЛЕДОВАНИЕ СФЕРИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТА И ИСКУССТВЕННЫХ ОПАЛОВ НА ИХ ОСНОВЕ МЕТОДОМ РАСТРОВОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ

Описывается получение сферических частиц полиметилметакрилата, осаждение этих частиц с образованием структуры опала, пропитка опалов прекурсором, отжиг с формированием структуры инверсного опала.

Ключевые слова: электронная микроскопия, полиметилметакрилат, искусственный и инверсный опалы.

Электронная микроскопия – это метод, позволяющий решать ряд задач, связанных с исследованием объектов размером от нескольких нанометров до нескольких микрон. В растровой электронной микроскопии (РЭМ) сфокусированный пучок электронов отклоняют с помощью магнита и сканируют по поверхности образца, подобно пучку электронов, пробегающих строку за строкой на экране телевизионной трубки. При этом детектируются низкоэнергетические (< 100 эВ, обычно 20–30 эВ) вторичные электроны, возникающие в результате взаимодействия сканирующего пучка с поверхностью твердого тела [1, с. 56].

Электронный микроскоп S5500 фирмы Hitachi (с помощью которого проводились настоящие исследования) имеет следующие основные характеристики: разрешение 0,4 нм (при ускоряющем напряжении 30 кВ); максимальное увеличение 2 000 000 \times ; возможность изменять ускоряющее напряжение от 0,5 до 30 кВ с шагом 1 кВ и ток зонда от 1 до 10 нА.

Целью данной работы было исследование размеров и морфологии сферических частиц полиметилметакрилата (ПММА) и искусственных опалов, полученных на их основе.

Пробоподготовка для исследования сфер ПММА и изготовленных из них опалов с помощью РЭМ проводилась следующим образом. Низкоконцентрированная водная взвесь сфер наносилась на алюминиевый столик РЭМ и подвергалась сушке при температуре ~ 40 – 50 °С в течение 3–5 мин. В некоторых случаях на сферы и опалы напылялось золото, чтобы обеспечить сток заряда (ПММА – диэлектрик) и теплоотвод под электронным зондом, а также повысить контрастность изображения.

Затем с помощью РЭМ была получена серия электронных снимков сфер ПММА при различных увеличениях и оценены их размеры. Выяснилось, что под электронным зондом микроскопа сферы равномерно сжимаются, уменьшая свой диаметр на величину $\sim 1/7$ от первоначального. Так при увеличении $\times 10k$ (измерения проводились при ускоряющем напряжении 1 кВ и токе 10 нА, что соответствует 0,01 Вт подводимой мощности; таким образом, плотность потока энергии составила от 1 до 30 мВт на $1\mu\text{m}^2$) размер сфер составил ~ 350 нм; при увеличении $\times 25k$ – ~ 315 нм; при увеличении $\times 50k$ – ~ 300 нм; при увеличении $\times 200k$ – ~ 280 нм (рис. 1, 2).

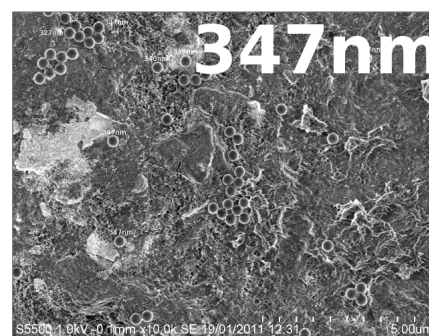


Рис. 1. Сферы ПММА при увеличении в 10 000 крат

Вероятно, сферы внутри пористые, поэтому происходит их усадка, так как при локальном нагреве электронным зондом поры «схлопываются», и сфера под действием сил поверхностного натяжения уменьшает площадь поверхности.