

## Машиностроение и машиноведение

УДК 621.7.015; 621.7.016.3; 621.787

DOI: 10.12737/article\_5a3779fb6455f6.47680401

М.Н. Нагоркин, В.П. Федоров, А.В. Тотай, Е.В. Ковалева

### УПРАВЛЕНИЕ ФОРМИРОВАНИЕМ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛИ В ПРОЦЕССЕ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

Рассмотрены способы управления процессом формирования параметров качества поверхности детали по заданному закону при обработке поверхностным пластическим деформированием. Представлены зависимости, которые на основе физико-статистических моделей, связывающих параметры качества с условиями обработки, позволяют прогно-

зировать результаты управления процессами обработки.

**Ключевые слова:** условия эксплуатации, управляемые факторы обработки, параметры качества поверхности, технологическая гибкость, алмазное выглаживание, технологическое наследование.

M.N. Nagorkin, V.P. Fyodorov, A.V. Totay, E.V. Kovalyova

### CONTROL OF PART SURFACE PARAMETER QUALITY DURING PROCESSING WITH SURFACE PLASTIC DEFORMATION

In the paper there is offered a scientifically substantiated approach to the techniques of the formation of naturally changing quality parameters of parts surfaces which ensures a uniformity of operation properties of surfaces at the operation under heterogeneous conditions on the basis of the natural control of machining modes on NC machines. The program management methods in the formation of naturally changing quality of parts surfaces by the example of technologically flexible systems of the processing with a surface plastic deformation are considered. There are presented dependences allowing the definition of

processing factor values to ensure changing quality parameters. The results of the process control in the formation of roughness parameters of a flat surface according to a trapezoidal law of load changes at diamond burnishing and also at the expense of the mechanism of technological inheritance of quality parameters obtained at the stage of the preliminary milling with composite 10 are presented.

**Key words:** operation conditions, controlled factors of processing, surface quality parameters, engineering flexibility, diamond burnishing, technological inheritance.

#### Введение

В процессе эксплуатации детали соединений подвергаются воздействию ряда случайных факторов, которые приводят к неравномерному изменению эксплуатационных свойств функциональных поверхностей при однородности их качества. Примером является неравномерный износ направляющих элементов типа трения скольжения технологического оборудования и оснастки (станины, планки, штанги и др.), обусловленный взаимодействием однородности качества функциональных поверхностей с нестабильностью условий эксплуатации. Результатом является потеря точности соединения как одной из важнейших функций технологического оборудо-

ования и в лучшем случае – необходимость ремонта, а в худшем – его замены [1; 2 и др.].

Неравномерность изменения эксплуатационных свойств поверхностей деталей связана с тем, что при выполнении технологических переходов назначаются постоянные условия обработки, при этом формируются однородные параметры качества поверхности. Современный подход к управлению технологическими процессами основан на формировании заданной закономерности изменения параметров качества в пространственной области, компенсирующей соответствующие изменения эксплуатационных факторов.

Процесс обработки деталей при решении задачи адаптации поверхности к переменным условиям эксплуатации должен быть гибким, позволяющим обеспечить неоднородность параметров качества по заданному закону их изменения в функциях координат поверхности. Для этого рекомендуется использовать технологические методы, позволяющие в процессе обработки варьировать такие управляющие факторы, как силовые (статические и динамические), кинематические (скорость, подача, направление), электро-

физические (сила тока, скважность импульсов) и др.

Практическое отсутствие рекомендаций по обеспечению требуемых свойств поверхностей, работающих в нестационарных условиях, подчеркивает актуальность исследований в этом направлении, так как их результаты могут внести значительный вклад в инженерию поверхности, связанную с повышением надёжности и долговечности, а следовательно, ростом качества продукции.

### Концепция предлагаемой методики и результаты исследований

Формирование параметров качества поверхностного слоя по заданному закону с целью компенсации воздействия на поверхность нестабильных условий эксплуатации (нагрузки, скорости относительного скольжения и др.) и обеспечения стабильности эксплуатационных свойств (равномерного износа поверхности при эксплуатации, контактной жёсткости) возможно при обработке с применением технологий, обладающих высокой технологической гибкостью. *Технологическая гибкость* – способность обеспечить заданное множество параметров качества поверхностного слоя (КПС) или эксплуатационных свойств (ЭС) в регламентированных интервалах с заданной надёжностью путём направленного варьирования условий обработки и управления механизмом технологического наследования.

Можно определить два рода технологической гибкости систем обработки [3; 4]:

1) технологическая гибкость 1-го рода с возможностью выбора группы управляемых факторов процесса обработки, постоянных по величине в пределах соответствующего перехода и обеспечивающих однородность поверхности по регламентируемым значениям параметров КПС в заданных пределах с требуемой надёжностью;

2) технологическая гибкость 2-го рода с возможностью выбора группы управляемых факторов процесса обработки, одним или несколькими из которых можно программно управлять в пределах перехо-

да по закону, обеспечивающему в итоге заданную закономерность изменения параметров КПС или ЭС по обрабатываемой поверхности с требуемой надёжностью.

Универсальные металлорежущие станки не обладают требуемой технологической гибкостью – у них отсутствует возможность управления режимами обработки (скорость резания, подача и др.) в процессе выполнения технологического перехода. В этом случае возможность управления закономерным изменением качества поверхностного слоя деталей, обрабатываемых методами поверхностного пластического деформирования (ППД), достигается применением дополнительных механических устройств (копиров), следящих гидравлических устройств, автономно управляемой технологической оснастки, комбинированных методов обработки с использованием управляемых физических воздействий на обрабатываемую поверхность (электромеханическая обработка и др.) [1; 3; 4].

Широкие возможности по обеспечению закономерного изменения параметров качества поверхности в процессе обработки открываются при использовании программируемых систем ППД инструментами упругого действия, которые могут автономно применяться на различном универсальном металлообрабатывающем оборудовании. Блок-схема такой системы для обработки на токарных станках представлена на рис. 1.



Рис. 1. Блок-схема программируемой технологической системы ППД инструментами упругого действия поверхностей деталей с закономерно изменяющимся качеством на токарных станках

Поверхность детали 1 в процессе обработки подвергается воздействию деформирующего индентора 2 с силой  $Q \pm \Delta Q$ , изменяющейся по заданному закону, обеспечивающему требуемую закономерность изменения формируемого параметра качества  $R$  как функции координаты обрабатываемой поверхности  $X$ :  $R = f(X)$ . Вид закона  $\Delta Q = f(X)$  определяется на стадии технологической подготовки производства.

В состав системы входят: 1) инструмент упругого действия для ППД, в том числе толкатель 5; упругий элемент (пружина), установленный в корпусе 4; плунжер 3 с индентором 2; 2) шаговый двигатель и программируемый контроллер, которые конструктивно могут составлять одно целое (например сервопривод); 3) редуктор; 4) исполнительный элемент для передачи вращательного или возвратно-поступательного движения толкателю 5, воздействующему на упругий элемент устройства поверхностного пластического деформирования, которое движется с подачей  $S_x$ , мм/об.

В соответствии с требуемым законом изменения силы  $Q = f(X)$  и другими исходными данными на ПК разрабатывается программа управления шаговым двигателем, которая вводится в энергонезависимую память контроллера [3; 4; 5].

Датчик обратной связи подает информацию о суммарном числе  $N$  оборотов шпинделя с момента пуска, которая переводится в текущую координату  $X$  обрабатываемой точки поверхности:  $X = NS_x$ . При

отсутствии датчика осуществляется разомкнутое управление, начало цикла которого определяется первоначальным положением индентора, а закон изменения силы  $Q$  формируется в зависимости от подачи  $S_x$  и времени  $t$ . В этом случае текущая координата определяется соотношением  $X = X_0 - S_x nt$ , где  $X_0$  – координата начальной точки обработки;  $S_x$  – величина подачи, мм/об;  $n$  – частота вращения шпинделя,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $t$  – время, прошедшее с момента начала обработки, с.

Обеспечение заданного закона изменения параметров качества поверхности в процессе обработки наиболее эффективно достигается при использовании технологических систем с ЧПУ повышенной гибкости (2 рода), к которым относятся системы типов CNC и PCNC.

С целью учёта влияния технологической наследственности на формирование параметров качества поверхности при обработке методами ППД целесообразно рассматривать двухступенчатую технологическую систему с ЧПУ, включающую предварительную обработку резанием и финишную обработку ППД. При этом следует рассматривать управление геометрическими параметрами поверхности с учётом того, что формирование физико-механических свойств поверхностного слоя при обработке ППД теснейшим образом связано с силовыми факторами: чем они выше, тем ниже параметры шероховатости (до перехода к образованию волнистости) и тем выше степень и глубина на-

клёпа, а также величина и глубина залегания сжимающих остаточных напряжений.

Примером может служить технологическая система (ТС) обработки деталей типа направляющих скольжения, включающая чистовую обработку торцевым

фрезерованием композитом 10 (ТС1) и обработку ППД (ТС2) (рис. 2), программное управление которыми позволяет обеспечить заданный закон изменения параметров качества по обрабатываемой поверхности.

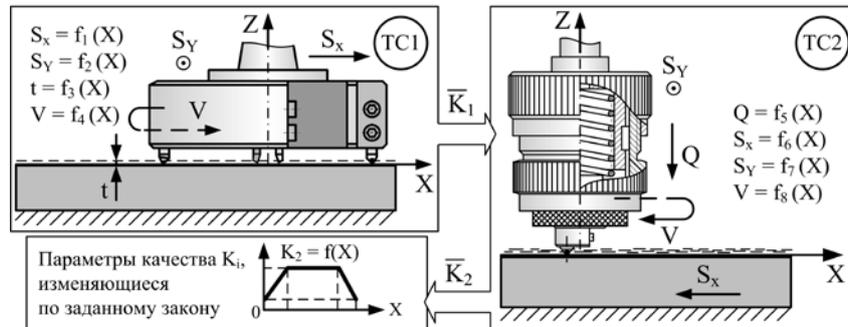


Рис. 2. Технологическая система обработки плоских поверхностей деталей типа направляющих скольжения: ТС1 – обработка торцевым фрезерованием композитом 10; ТС2 – обработка алмазным выглаживанием

Для ППД в ТС2 предлагается применять инструменты упругого действия с индентором из поликристаллического алмаза АСПК или шарика (ШХ-15) [3-5].

При обработке деталей на станках с ЧПУ типов CNC и PCNC можно управлять четырьмя факторами обработки на каждом из уровней ТС1 и ТС2 (рис. 2), что обеспечивает заданное изменение параметров качества по поверхности:

- глубиной резания  $t$ , скоростью обработки  $V$  и подачами  $S_x$  и  $S_y$ , за счёт которых формируется исходное качество поверхности  $K_1$  как исходный материал будущего технологического наследования;

- силой  $Q$  воздействия индентора на обрабатываемую поверхность, скоростью  $V$  обработки ППД, подачами  $S_x$  и  $S_y$ , которые при выбранном типе индентора и его радиусе  $r$  обеспечивают требуемые параметры качества поверхности  $K_2$ , изменяющиеся по заданному закону с учётом технологической наследственности.

В настоящее время технологическое обеспечение качества обрабатываемых поверхностей во многом базируется на использовании физико-статистических моделей, связывающих параметры качества с

условиями обработки [1; 5 – 7 и др.]. Так, например, для обработки методами ППД такая модель может иметь вид

$$R_i = b_{0i} Ra_{np}^{b_{1i}} Q^{b_{2i}} S_{ППД}^{b_{3i}}, \quad (1)$$

где  $R_i$  –  $i$ -й параметр качества ( $Ra$ ,  $Rp$  и др.);  $Ra_{np}$  – параметр шероховатости поверхности после предварительной обработки;  $Q$  – сила вдавливания индентора;  $S_{ППД}$  – подача индентора при обработке ППД;  $b_{0i} \dots b_{3i}$  – соответствующие коэффициенты модели.

При необходимости управления, например, параметром шероховатости  $Ra$  в процессе обработки ППД наиболее эффективно это достигается за счёт силы  $Q$ , определяемой в данном случае из зависимости (1):

$$Q = \left( \frac{1}{b_{0i} Ra_{np}^{b_{1i}} S_u^{b_{3i}}} \right)^{1/b_{2i}} Ra_{зад}^{1/b_{2i}}.$$

Если заданная величина шероховатости  $Ra_{зад}$  является, например, функцией от длины обрабатываемой поверхности и для каждого её участка  $x_i$  должна составлять  $Ra(x_i)$ , то сила воздействия индентора  $Q$  на участке  $x_i$  составит:

$$Q(x_i) = B_{2j} (Ra(x_i))^{1/b_{21}}; \quad B_{2j} = \left( \frac{1}{b_{01} Ra_{np}^{b_{11}} S_u^{b_{31}}} \right)^{1/b_{21}} \quad (2)$$

Здесь  $B_{2j}$  определяется для какого-то одного из возможных методов обработки ППД. Значения коэффициентов  $b_{01} \dots b_n$  берутся из справочных данных или получаются методами диагностики конкретной технологической системы обработки ППД [5].

Если инструмент упругого действия для обработки ППД установлен по оси  $Z$ , то вместо расчёта потребной силы  $Q(x_i)$  по зависимости (2) целесообразно рассчитывать сразу величину необходимого перемещения по оси  $Z$  для каждого из  $i$  участ-

ков обрабатываемой поверхности:

$$Z(x_i) = \frac{1}{c} B_{2j} (Ra(x_i))^{1/b_{11}},$$

где  $c$  – жёсткость пружины инструмента упругого действия для обработки ППД.

Управление процессом формирования параметра  $Ra(x_i)$  возможно за счёт технологической наследственности. В этом случае шероховатость предварительно обработанной поверхности на  $i$ -м участке должна составлять:

$$Ra_{np}(x_i) = B_{1j} (Ra_{зад}(x_i))^{1/b_{11}}; \quad B_{1j} = \left( \frac{1}{b_{01} Q^{b_{21}} S^{b_{31}}} \right)^{1/b_{11}}.$$

Формирование параметра  $Ra_{np} = f(x)$  достигается на стадии предварительной обработки путём программирования необходимой подачи на соответствующих участках обработки  $x_i$ .

Такой подход был реализован в двухступенчатой ТС обработки плоских поверхностей деталей типа направляющих скольжения из чугуна на фрезерном станке FQW-400 с системой ЧПУ типа CNC-H646 (Numeric, Германия), которая позволяет программно управлять шероховатостью  $Ra_{np}$  предварительно обработанной по-

верхности, силой  $Q$  воздействия индентора на обрабатываемую поверхность, величиной подачи  $S$  инструмента по любым двум из трёх координат станка [1; 3; 5].

Законы для обеспечения программного управления параметром  $Ra_{зад}$  за счёт использования фактора технологической наследственности ( $Ra_{np} = var, Q, S = const$ ) и за счёт изменения силы воздействия индентора на обрабатываемую поверхность ( $Ra_{np}, S = const, Q = var$ ) представлены на рис. 3.

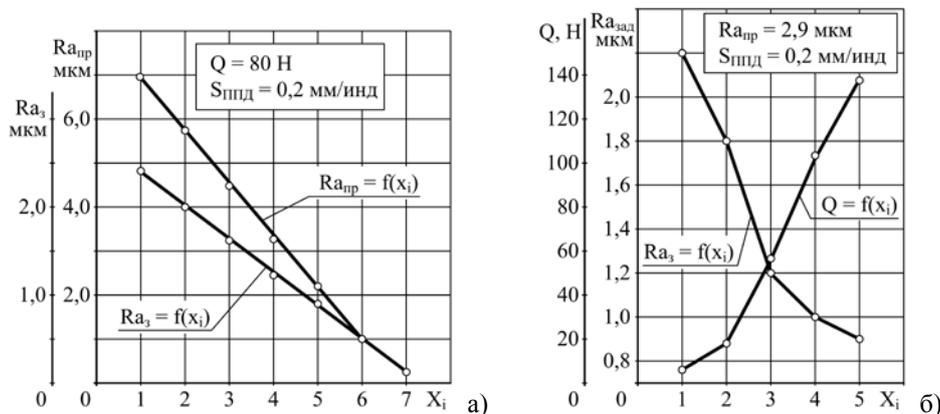


Рис. 3. Законы изменения: а – фактора технологической наследственности  $Ra_{np}$ ; б – силы  $Q$  воздействия на поверхность при обеспечении заданного изменения параметра  $Ra_{зад}$  в функции от длины  $x_i$  поверхности при алмазном выглаживании

В практике машиностроения встречаются случаи воздействия эксплуатаци-

онных факторов в виде трапецеидального закона распределения нагрузок на функ-

циональные поверхности деталей типа направляющих скольжения [1 – 5]. Соответственно эффективным будет применение трапецидального закона изменения силы при обработке ППД.

В этом случае (рис. 4) типичным является наличие участков разбега  $x_1$ , стационарного воздействия внешних факторов  $x_2$  и торможения  $x_3$ . На этих участках соответственно должна изменяться и сила обработки  $Q$ .

При разработке и реализации программы, обеспечивающей трапецидальную закономерность управления силой  $Q$ , исходными данными наряду с параметрами  $x_1, x_2, x_3$  являются величины минимальной и максимальной силы ( $Q_{min}, Q_{max}$ ), жёсткости пружины инструмента, величина подачи  $S$  и скорость обработки  $V$ . В качестве исходных данных также задаются координаты  $X_0, Y_0, Z_0$ , характеризующие

положение заготовки в рабочей зоне станка перед началом обработки.

Значения величин  $Q_{min}, Q_{max}, x_1, x_2, x_3$ , а также законы  $Q = f_1(x)$  и  $Q = f_3(x)$  являются исходными данными для технологического проектирования и рассчитываются конструктором исходя из реальной ожидаемой нестационарности условий эксплуатации.

На рис. 4 представлен текст программы для прямолинейного характера изменения силы  $Q$  на участках  $ab$  ( $f_1(x)$ ) и  $cd$  ( $f_3(x)$ ) в рассматриваемой ТС с ЧПУ. При разработке программного обеспечения использовался метод параметрического программирования. В тексте программы в круглых скобках (кадры N10, N20) указаны наименования параметров, вместо которых необходимо вводить их численные значения, но без скобок.

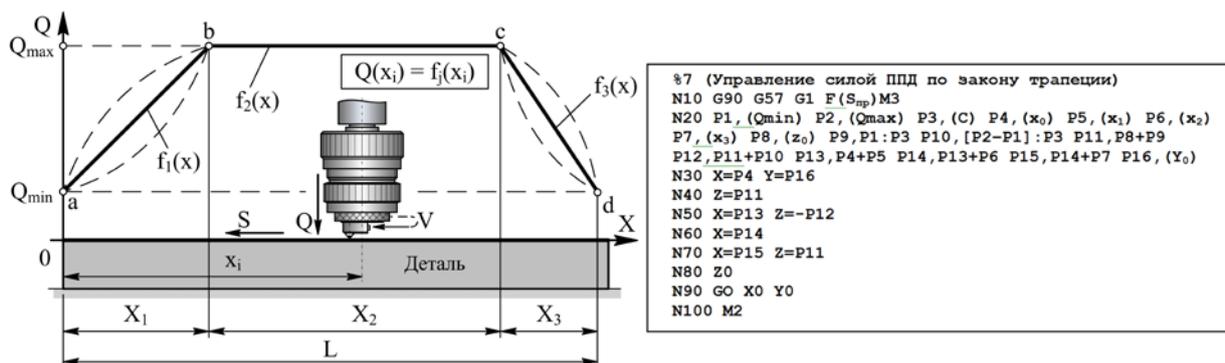


Рис. 4. Трапецидальный закон изменения силы  $Q$  при обработке ППД плоских поверхностей

Некоторые результаты обработки ППД методом алмазного выглаживания (АВ) плоской поверхности детали из чугуна СЧ20 с обеспечением параметра  $Ra$  по заданному закону представлены на рис. 5.

Анализ показывает, что исследуемые параметры изменяются в достаточно широких пределах, что гарантирует возмож-

ность адаптации поверхности к нестационарным условиям эксплуатации, в частности по параметрам износостойкости, так как характеризующий её комплекс Крагельского – Комбалова  $\Delta$  изменяется в пределах одной функциональной поверхности более чем в 200 раз.

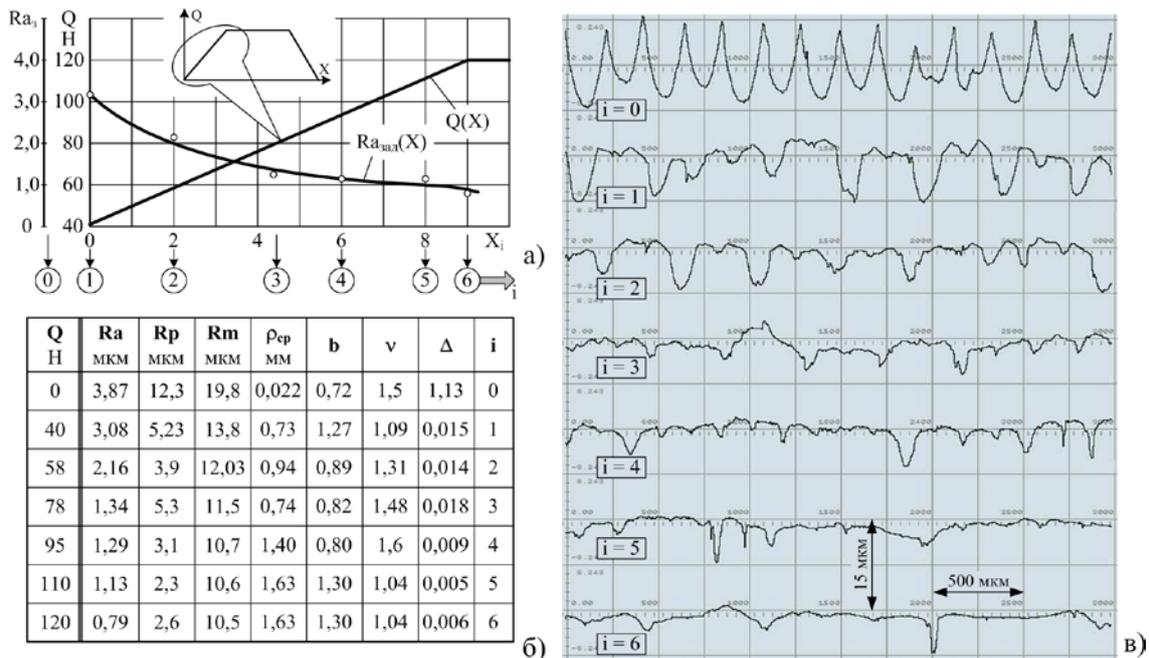


Рис. 5. Результаты управления параметрами шероховатости плоской поверхности по трапецидальному закону изменения нагрузки при алмазном выглаживании: а – вид закона  $Q = f(x)$ ; б – значения параметров микропрофиля  $Q$ ; в – профилограммы участков поверхности, обработанных с разными значениями сил выглаживания

Управление изменением качества поверхности при обработке ППД по заданному закону удобно осуществлять также путём соответствующего изменения подачи в пределах перехода вдоль трассы упрочнения. Такой способ легко реализуется в компьютерных системах управления CNC или PCNC.

Плоские поверхности заготовок с

размерами  $L \times B$  удобно обрабатывать методом ППДПС по схеме «Меандр» (рис. 6). Здесь  $l$  – технологический размер,  $r$  – радиус вращения индентора устройства упругого действия для ППД (рис. 6а). Так как программа обработки составляется на основе программного кода ISO-7bit, подача имеет обозначение  $F$ .

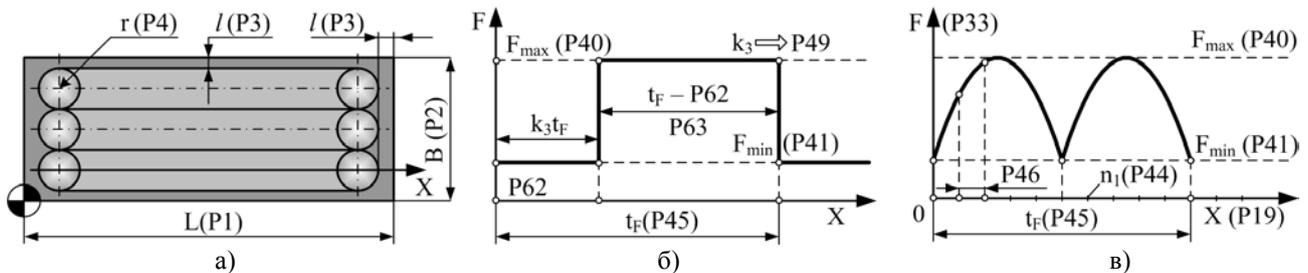


Рис. 6. Обработка поверхностей методом ППД по программе «Меандр» с переменной подачей: а – схема обработки; б, в – ступенчатый и синусоидальный законы изменения подачи вдоль оси X

Аналитически изменение рабочей подачи  $F$  определяется уравнением по си-

нусоидальному закону:

$$F = F_{\min} + (F_{\max} - F_{\min}) \left| \sin \left( \frac{2\pi}{t_F} X \right) \right|, \quad (3)$$

где  $X$  – текущая координата точки в пределах изменения подачи  $t_F$ .

В общем случае закон (3) может быть любым, но единственное требование к не-

му – существование аналитической зависимости величины подачи от текущей координаты  $X$ . Эта зависимость может быть и стохастической, но в этом случае необ-

ходимо знание параметров закона распределения случайной величины подачи в пределах периода  $t_F$ . Тогда решение такой задачи трудностей не представляет.

В зависимости от исходных данных дорожки обработки могут перекрываться и не перекрываться. Если это заранее не регламентируется, в процессе обработки рассчитывается текущий коэффициент перекрытия:

$$k = \frac{1}{r} \left( 2r - \frac{B - 2(\ell + r)}{N - 1} \right),$$

где  $N$  – число дорожек обработки (на рис. 6а  $N = 3$ ).

Эффективным является управление

формированием поверхности с участками различного качества за счёт механизма технологического наследования. Самый простой способ управления – это предварительная чистовая обработка (в данном случае – торцевым фрезерованием композитом 10) с различной подачей на участках поверхности I и II (рис. 7). В этом случае простое изменение величины подачи при предварительной обработке (торцевое фрезерование) в силу статических и динамических свойств технологической системы автоматически приводит к появлению ступени  $\Delta H_1$  (рис. 7а).

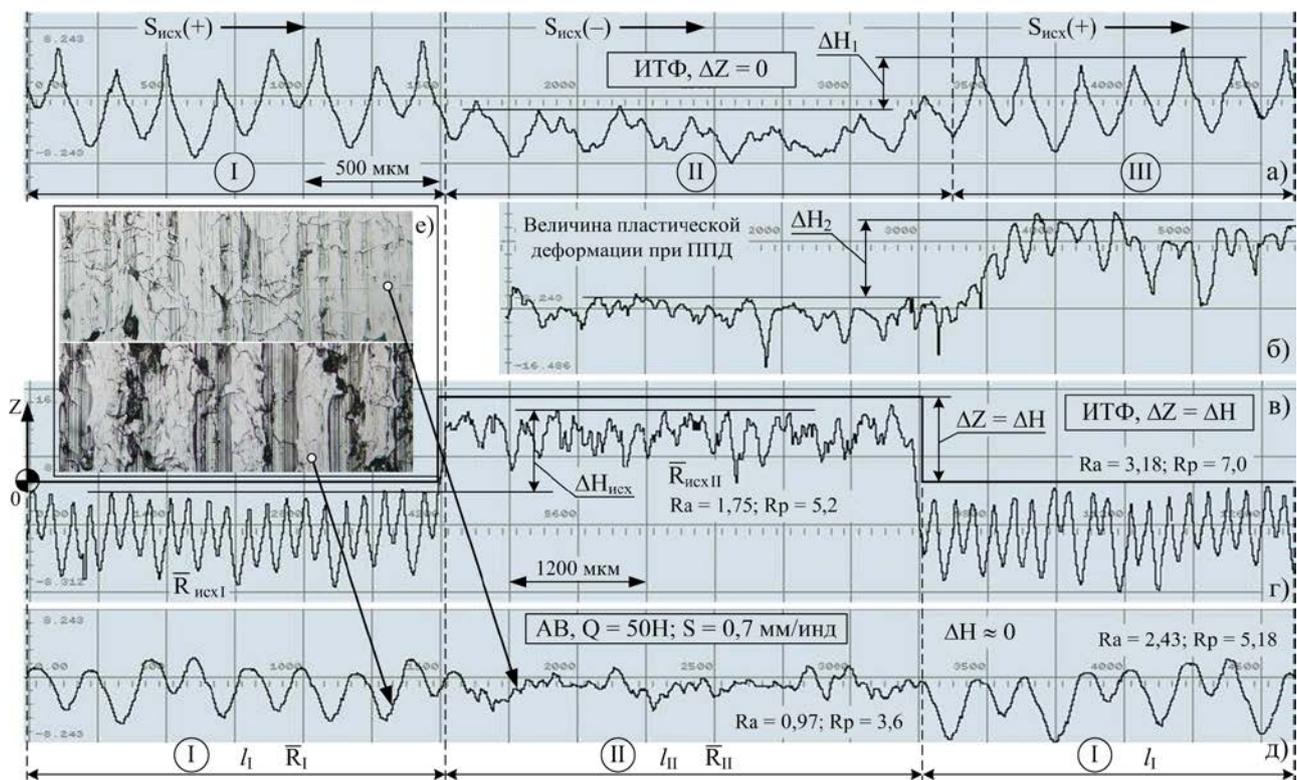


Рис. 7. Формирование поверхности с участками различного качества за счёт механизма технологического наследования

Величина  $\Delta H_1$  зависит от многих факторов, которыми можно управлять. К ним относятся геометрия инструмента и режимы обработки (скорость, подача, глубина). Но один из важнейших – техническое состояние ТС, характеризующееся её статической и динамической жёсткостью.

При последующем АВ исходной поверхности в области перехода II – I формируется ступень  $\Delta H_2$  (рис. 7б), которая

помимо перепада  $\Delta H_1$  определяется ещё и текущими условиями обработки ППД, включающими исходное качество обрабатываемой поверхности  $\bar{R}_{исхI}$  и  $\bar{R}_{исхII}$ , а также режимы ППД (в данном случае  $Q$  и  $S_{AB}$ ).

Для обеспечения отсутствия перепадов на границах участков I и II после обработки ППД при предварительной обработке на переходах I – II необходимо вводить

коррекцию по оси  $Z$ :  $\Delta Z = f(\Delta H_1, \Delta H_2)$ . Если исходная чистовая обработка и финишная обработка ППД реализуются в одной ТС, то с достаточной для практических целей точностью можно ввести коррекцию  $\Delta Z = \Delta H_2$  (рис. 7в) (в данном случае  $\Delta H_2 \approx 11$  мкм).

Дальнейшая обработка ППД методом АВ формирует окончательную поверхность с перепадом  $\Delta H \approx 0$ , но с различны-

### Заключение

С учётом того, что большинство реальных триботехнических систем работают при нестационарных условиях эксплуатации, предложен научно обоснованный подход к технологии формирования закономерно изменяющихся параметров качества поверхностей деталей, обеспечивающей равномерность эксплуатационных свойств поверхностей при работе в неоднородных условиях, на основе закономерного управления режимами обработки на станках с ЧПУ. Разработана архитектурная модель программного управления формированием закономерно изменяющегося качества поверхности деталей и предложены технологически гибкие ТС, позволяющие программно управлять в пределах перехода одним или несколькими факторами обработки (подача, сила ППД и др.). При этом параметр  $Ra$  можно обеспечить в пределах от 0,7 до 4 мкм и более.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фёдоров, В.П. Технологическое обеспечение закономерного изменения параметров качества поверхности детали в процессе обработки: монография / В.П. Фёдоров, М.Н. Нагоркин, Е.В. Ковалёва. – Брянск: БГТУ, 2012. – 192 с.
2. Нагоркин, М.Н. Условия эксплуатации функциональных поверхностей трибоэлементов в типовых соединениях трения скольжения / М.Н. Нагоркин, В.П. Фёдоров, А.В. Тотай // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2014. – № 6. – С. 15 - 26.
3. Фёдоров, В.П. Принципы и средства технологического обеспечения заданных законов распределения параметров качества по обрабатываемой поверхности детали / В.П. Фёдоров, М.Н. Нагоркин // Эффективные технологии поверхностного пластического деформирования и комбинированной обработки: кол. моногр. / под ред. А.В. Киричека. – М.: Спектр, 2014. – С. 172

ми параметрами качества на участках I и II ( $\bar{R}_1, \bar{R}_2$ ) (рис. 7д) и различной микротопографией этих участков поверхности (рис. 7е).

Данные об эксплуатационных свойствах таких поверхностей практически отсутствуют, что требует дальнейших исследований.

Результаты исследований могут послужить отправной точкой для дальнейшего развития теории технологического обеспечения требуемой эпюры распределения параметров качества по поверхности детали в процессе обработки. Для этого, а также для практической реализации результатов исследований необходимо решение ряда задач: 1) разработка стандартов или руководящих материалов по регламентации в технологической документации требуемых эпюр распределения параметров качества по функциональным поверхностям ответственных деталей; 2) развитие программных и технических средств технологического обеспечения заданной эпюры распределения параметров качества по поверхности детали в процессе обработки для условий реального производства и др.

- 220.

4. Фёдоров, В.П. Технологическое обеспечение закономерного изменения качества поверхностного слоя детали при обработке на станках с ЧПУ / В.П. Фёдоров, М.Н. Нагоркин // Научно-ёмкие технологии в машиностроении. – 2011. – № 2. – С. 40 - 46.
5. Нагоркин, М.Н. Параметрическая надёжность технологических систем чистовой и отделочно-упрочняющей обработки поверхностей деталей машин инструментами из сверхтвёрдых синтетических материалов: монография / М.Н. Нагоркин; под ред. А.В. Киричека. – М.: Спектр, 2017. – 304 с.
6. Fyodorov, V.P. Determination of parametric reliability of machining technological systems by simulation technique / V.P. Fyodorov, M.N. Nagorkin, A.V. Totai // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. - 124 (2016) 012053.

7. Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных свойств деталей и их соединений / А.Г. Суслов, В.П. Федоров, О.А. Гор-

ленко [и др.]; под общ. ред. А.Г. Суслова. – М.: Машиностроение, 2006. – 447 с.

1. Fyodorov, V.P. *Technological Support of Natural Changes in Parts Surfaces Quality Parameters during Processing*: monograph / V.P. Fyodorov, M.N. Nagorkin, E.V. Kovalyova. – Bryansk: BSTU, 2012. – pp. 192.
2. Nagorkin, M.N. Operation conditions of triboelement functional surfaces in standard joints of sliding friction / M.N. Nagorkin, V.P. Fyodorov, A.V. Totay // *Proceedings of South-Western State University*. – 2014. – No. 6. – pp. 15-26.
3. Fyodorov, V.P. Principles and means in technological support of specified laws of quality parameter distribution on part surface worked / V.P. Fyodorov, M.N. Nagorkin // *Efficient Technologies of Surface Plastic Deformation and Combined Processing*: authors' collective monograph / under the editorship of A.V. Kirichek. – M.: Spectrum, 2014. – pp. 172-220.
4. Fyodorov, V.P. Technological support of natural changes of parts surface layer quality at machining

on NC machines / V.P. Fyodorov, M.N. Nagorkin // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2011. – No.2. – pp. 40-46.

5. Nagorkin, M.N. *Parameter Reliability of Technological Systems of Machinery Surface Finishing and Finish-Strengthening with Superhard Synthetic Tools*: monograph / M.N. Nagorkin; under the editorship of A.V. Kirichek. – M.: Spectrum, 2017. – pp. 304.
6. Fyodorov, V.P. Determination of parametric reliability of machining technological systems by simulation technique / V.P. Fyodorov, M.N. Nagorkin, A.V. Totay // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. - 124 (2016) 012053.
7. *Technological Support and Operation Properties Increase of Parts and Their Joints* / A.G. Suslov, V.P. Fyodorov, O.A. Gorlenko [ et al.]; under the general editorship of A.G. Suslov. – M.: Mechanical Engineering, 2006. – pp. 447.

Статья поступила в редакцию 10.10.17.

Рецензент: д.т.н., доцент Воронежского государственного технического университета

Кириллов О.Н.

#### Сведения об авторах:

**Нагоркин Максим Николаевич**, к.т.н., доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности и химия» Брянского государственного технического университета, e-mail: [nagorkin@tu-bryansk.ru](mailto:nagorkin@tu-bryansk.ru).

**Федоров Владимир Павлович**, д.т.н., профессор кафедры «Технология машиностроения» Брянского государственного технического университета, тел.: 8-980-315-70-09.

**Тотай Анатолий Васильевич**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Безопасность жизнедея-

тельности и химия» Брянского государственного технического университета, e-mail: [totai\\_av@mail.ru](mailto:totai_av@mail.ru).

**Ковалева Елена Владимировна**, к.т.н., доцент кафедры «Триботехническое материаловедение и технологии материалов» Брянского государственного технического университета, e-mail: [lenako1965@mail.ru](mailto:lenako1965@mail.ru).

**Nagorkin Maxim Nikolayevich**, Can. Eng., Assistant Prof., of the Dep. “Life Activity Safety and Chemistry”, Bryansk State Technical University, e-mail: [nagorkin@tu-bryansk.ru](mailto:nagorkin@tu-bryansk.ru).

**Fyodorov Vladimir Pavlovich**, D. Eng., Prof. of the Dep. “Engineering Techniques”, Bryansk State Technical University, Phone: 8-980-315-70-09.

**Totay Anatoly Vasilievich**, D. Eng., Prof., Head of the Dep. “Life Activity Safety and Chemistry”, Bryansk State Technical University, e-mail: [totai\\_av@mail.ru](mailto:totai_av@mail.ru).

**Kovalyova Elena Vladimirovna**, Can. Eng., Assistant Prof. of the Dep. “Tribotechnical Material Science and Material Technique”, Bryansk State Technical University, e-mail: [lenako1965@mail.ru](mailto:lenako1965@mail.ru).