

УДК 621.92

Богуцкий В. Б., Шрон Л. Б.

### ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ПРИ ШЛИФОВАНИИ И ЗАТОЧКЕ ПРОТЯЖЕК

**Аннотация.** В статье рассмотрена проблема стабилизации показателей качества при шлифовании и заточке протяжек за счет управления температурой в зоне контакта. Процесс шлифования имеет сложную стохастическую природу, при котором меняются параметры не только объекта, но и самой технологической системы. Обработка заготовок выполняется в условиях непостоянства параметров технологической системы обработки и окружающей среды. Изменение одних параметров протекает за период обработки одной детали, других – в течение смены, третьих – в течение более длительного периода. Для повышения стабильности качества изделий необходимо в полной мере использовать технологические возможности чистового и тонкого шлифования.

**Ключевые слова:** шлифование, прерывистый шлифовальный круг, режущий инструмент, стойкость инструмента, технологическая система.

Богуцкий В. Б., Шрон Л. Б.

### ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ ПРИ ШЛІФУВАННІ Й ЗАТОЧУВАННІ ПРОТЯЖОК

**Анотація.** У статті розглянуто проблему стабілізації показників якості при шліфуванні і заточуванні протяжок за рахунок управління температурою в зоні контакту. Процес шліфування має складну стохастичну природу, при якому змінюються параметри не тільки об'єкта, але й самої технологічної системи. Обробка заготовок виконується в умовах непостійності параметрів технологічної системи обробки й навколишнього середовища. Зміна одних параметрів протікає за період обробки однієї деталі, інших – протягом зміни, третіх – протягом більш тривалого періоду. Для підвищення стабільності якості виробів необхідно повною мірою використовувати технологічні можливості чистового і тонкого шліфування.

**Ключові слова:** шліфування, переривчастий шліфувальний круг, ріжучий інструмент, стійкість інструменту, технологічна система.

Bogutskiy V. B., Shron L. B.

### ENSURING THE STABILITY OF QUALITY PARAMETERS WHEN GRINDING AND SHARPENING OF BROACHING

**Summary.** The article considers the problem of stabilization of quality indicators for grinding and sharpening broaches by controlling the temperature in the contact zone. The grinding process has a complex stochastic nature, which changes not only the parameters of the object, but also the technological system. Sharpening operations and fine grinding of workpieces is carried out in conditions of process variability parameters and processing environment. Variable working conditions of the abrasive tool structure and properties of the cooling fluid processing system, stiffness settings, ambient temperature, etc. Changing one parameter

takes place over a period of processing one piece, the other – during the shift, the third – over a longer period. To enhance the stability of product quality it is necessary to fully exploit the technological capabilities of the finishing and fine grinding.

**Key words:** grinding, intermittent grinding wheel, cutting tools, tool life, technological system.

**Постановка проблемы.** Высокий уровень требований к современным режущим инструментам обусловил ряд проблем, связанных с созданием высокопроизводительных технологических процессов, обеспечивающих их изготовление с заданными параметрами качества, определяющими функциональную пригодность инструмента.

**Анализ литературы.** Отечественной и мировой наукой в настоящее время накоплен значительный объем теоретической и экспериментальной информации о физических процессах и явлениях, протекающих при формообразовании поверхностей. Сформулированы принципы технологической наследственности, изучено влияние на параметры качества способов обработки, геометрии и материалов режущих инструментов, режимов резания, смазочно-охлаждающих жидкостей и других технологических факторов. Исследованы физико-механические и химические явления процессов резания и износа инструмента, созданы новые эффективные инструментальные материалы, станки и способы обработок [1–3].

Применение новых способов получения заготовок, уменьшение припусков на механическую обработку, совершенствование конструкций абразивного инструмента, создание станков повышенной и особо высокой точности позволило расширить сферу использования процессов чистового и тонкого шлифования. Число станков, работающих абразивными инструментами, из года в год увеличивается и составляет в настоящее время на предприятиях инструментального производства 50–60% от общего парка металлорежущих станков [4; 5].

Среди режущего инструмента особое место занимает фасонный режущий инструмент: круглые и плоские протяжки, цельные и сборные червячные, а также дисковые и концевые фрезы, долбяки, осевой инструмент (сверла, зенкера, развертки), центровочные сверла и др. При их изготовлении используются в основном быстрорежущие стали типа P18, P6M5, P6M5K5 и др. [6; 7]. Достижение хороших режущих свойств у этих сталей связано, однако, с некоторым снижением их обрабатываемости резанием, в частности шлифуемости.

Анализ конструктивных особенностей фасонного режущего инструмента и технологии его обработки показывает, что в процессе шлифования абразивным инструментом быстрорежущих

сталей при нелинейной зоне контакта с обрабатываемой поверхностью в зоне резания создаются неблагоприятные термодинамические условия. Они становятся причиной появления дефектов шлифовочного характера в виде прижогов [8].

Принимая во внимание многогранность выполненных исследований, в то же время следует отметить, что до сих пор недостаточно изучен механизм формообразования поверхностей фасонного режущего инструмента, в частности протяжек. Для этих условий отсутствуют комплексные динамические модели, отражающие основные закономерности изменения параметров качества, что не позволяет создавать эффективные процессы финишной обработки, обеспечивающие выполнение заданных потребителем требований к инструменту с наименьшими затратами.

**Цель работы** – подбор режимов и характеристик круга, обеспечивающих температуру в зоне контакта ниже критических точек структурных превращений.

**Изложение основного материала.** Для достижения заданного качества в процессе шлифования применяются различные способы снижения температуры в зоне контакте (рис. 1).

В связи с низкой размерной стойкостью инструмента и появлением прижогов на обрабатываемых поверхностях приходится снижать режимы резания, осуществлять частую правку шлифовальных кругов, что неизбежно приводит к снижению производительности обработки [9].

Для снижения температуры в зоне резания применяют прерывистые, композиционные, высокопористые или высокоструктурные круги [10].

В работе [11] дана экспериментальная оценка эффективности применения прерывистых кругов при заточке фасонных фрез и зуборезных долбяков на основе сравнительных стойкостных испытаний фасонных фрез из быстрорежущей стали P9K10, заточенных обычным 24A25M3K6 и прерывистым 24A25CM2K6 ( $l_1 = 45$  мм,  $l_2 = 10$  мм,  $z = 10$ ) кругами 2T175x20x32 со следующими режимами: частота вращения шпиндели 1600 об/мин, продольная подача 0,2 м/с, поперечная подача 0,01...0,015 мм/дв. ход. с последующим выхаживанием без охлаждения, снимаемый припуск при переточке – 0,5...0,8 мм. Обработка инструмента прерывистым кругом позволила снизить высоту шероховатости зубьев с 1,8 до 1,2 мкм, на заточенных поверхностях отсутствовали цвета побежалости, завалы режущих кромок и нарушения геометрии зубьев фрез.

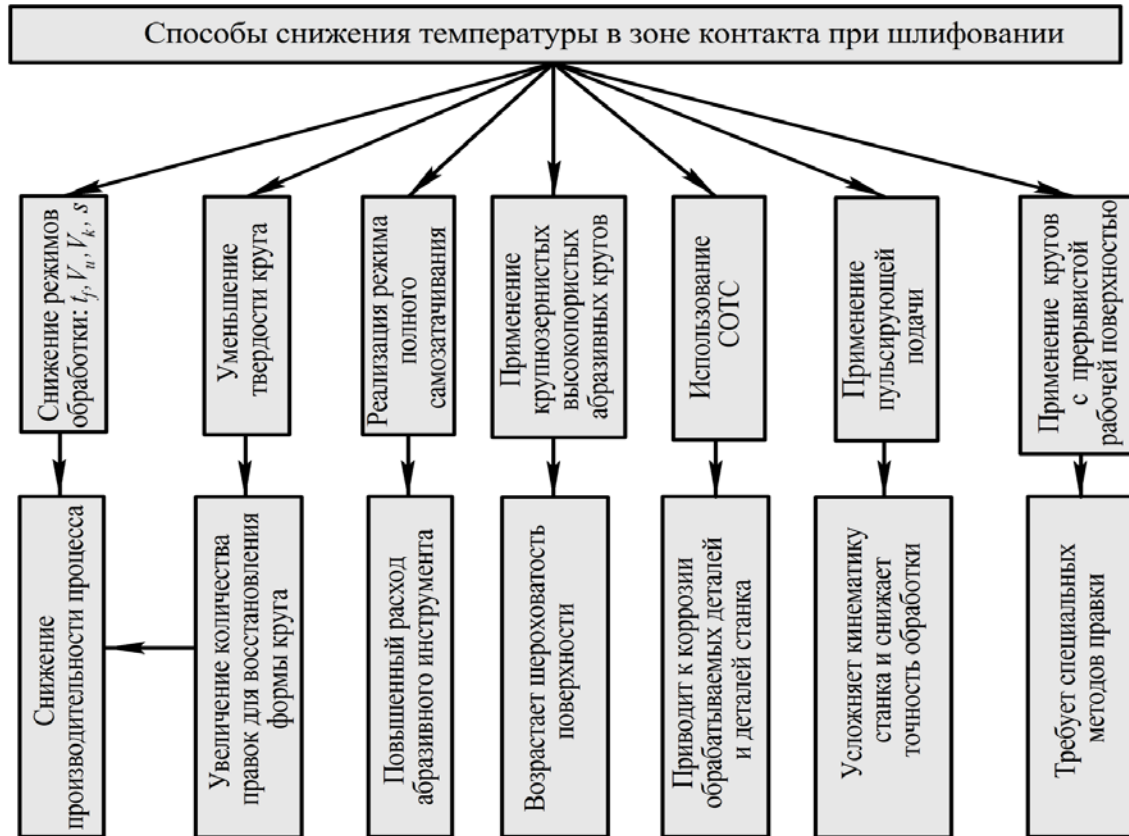


Рис. 1. Способы снижения температуры в зоне резания.

Результаты сравнительных испытаний показали, что при применении кругов с прерывистой рабочей поверхностью стойкость инструмента существенно возрастает. Приведенный пример позволяет сделать заключение о целесообразности использования прерывистых кругов для заточки инструмента.

За период стойкости инструмента параметры технологической системы под действием раз-

личных факторов могут изменяться с течением времени предсказуемым и непредсказуемым образом. Важным показателем качества технологических систем (ТС) обработки деталей, особенно ТС финишных операций, является их стабильность, отсутствие стабильности при традиционных технологиях неизбежно приводит к разбросу показателей качества выпускаемой продукции (рис. 2).

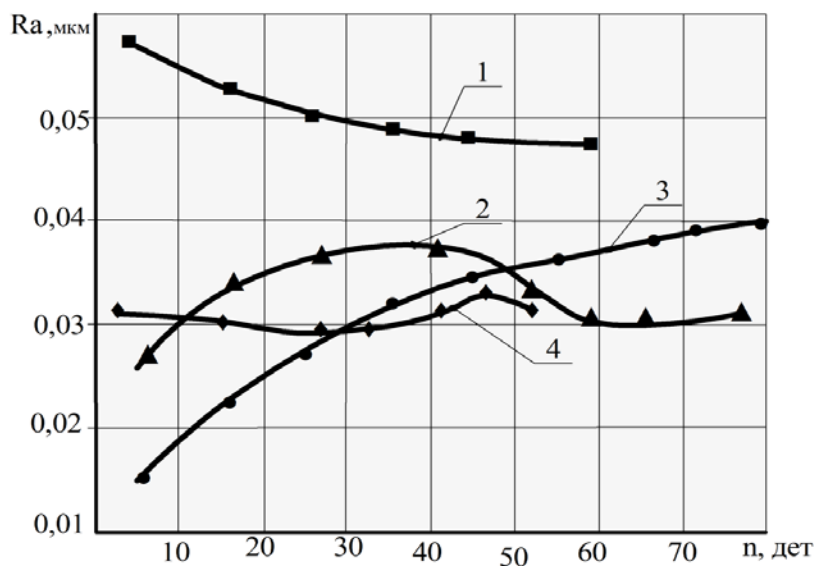


Рис. 2. Изменение шероховатости поверхности зубьев протяжек из стали Р6М5 при шлифовании кругами: 1 – 14 63x15x36 14AF54M7V; 2 – 24 63x15x36 37AF54M7V; 3 – 14 55x15x36 33AF54K7V; 4 – 14 63x15x36 14AF54L7V. Режим шлифования:  $V_k = 22$  м/с;  $V_n = 0,17$  м/с;  $S_n = 7$  мкм/с.

Согласно общепринятым представлениям (например [12]) под стабильностью понимают свойство технологического процесса сохранять показатели качества изготовления продукции в заданных пределах в течение некоторого промежуточного времени.

Следовательно,  

$$|y_k(\tau_0) - y_k(\tau_f)| \leq \varepsilon_k \text{ при } \tau \in (\tau_0 - \tau_f), \quad (1)$$

где  $\varepsilon_k$  – заданный предел изменения  $k$ -го показателя качества,  
 $(\tau_0 - \tau_f)$  – заданный интервал времени, в течение которого должны сохраняться показатели качества.

Эти показатели должны находиться в пределах заданного поля допуска

$$y_{k \min} \leq y_k(\tau_f) \leq y_{k \max}.$$

Неравенство (1) гарантированно выполняется при условии

$$\left| \frac{dy_k}{d\tau} \right| \leq \delta_k, \quad (2)$$

где  $\delta_k = \frac{\varepsilon_k}{\tau_f - \tau_0}$  – ограничение по скорости изменения параметра  $y_k$ .

Причинами, вызывающими изменение  $y_k$ , являются внешние воздействия на технологиче-

ский процесс, т. е. векторов воздействий  $U(\tau)$ ;  $X(\tau)$ ;  $\Omega(\tau)$ , и начальные условия состояния  $Z(\tau_0)$ . В силу того, что  $\Omega(\tau)$  является неизмеряемым, то его компоненты могут считаться случайными функциями, результат воздействия которых приводит к случайным отклонениям от номинальных значений  $y_k$  и, следовательно, появлению элементов случайности в показателях качества.

В соответствии с ГОСТ 15895-77, для такого случая критерием стабильности служит среднеквадратичное отклонение контролируемого параметра  $\sigma_{y_k}$ , т. е.

$$\sigma_{y_k} \leq \sigma_{y_{k \max}}. \quad (3)$$

Обеспечение стабильности соответствующих показателей производится за счет выбора компонент вектора  $U(\tau)$ . Считается, что рациональными являются такие параметры управления  $U(\tau)$ , которые обеспечивают положение центра рассеивания  $y_k$  внутри поля допуска ( $y_{k \min}, y_{k \max}$ ) на таком уровне  $y_{k0}$  (рис. 3), который минимизирует вероятность появления бракованных деталей [13]. Обычно указанную задачу решают путем соответствующей фиксированной настройки станка  $U_0^*(\tau_0)$ , обеспечивавшей заданные параметры в течение максимально достижимого интервала времени [14].

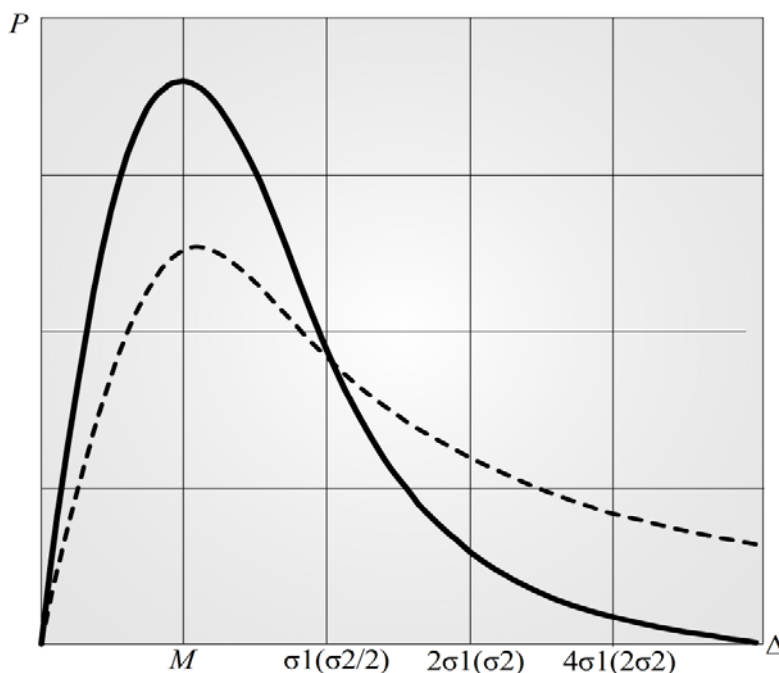


Рис. 3. Изменение положение центра рассеивания внутри поля допуска при различных параметрах настройки.

Наличие существенных колебаний в отклонениях расположения и шероховатости поверхности можно объяснить наличием в технологических процессах существенных возмущающих воздействий  $\Omega(\tau)$ , вызванных нестабильностью технологического процесса, в том числе и за счет того, что часть доступных измерению парамет-

ров  $X(\tau)$  считается равной  $X(\tau_0)$ , и не выполняются условия (2).

Фактически при обработке каждой новой заготовки параметры процесса  $Z(\tau)$  принимают новые значения. Это соответствует смещению центра рассеивания относительно поля допуска и выходит за рамки ограничения (1).

Указанный недостаток может быть устранен путем уменьшения интервала ( $\tau_0 - \tau_j$ ) задания  $U_0^*(\tau_0)$ , т. е. более частой настройкой параметров технологического процесса, и представляет алгоритм управления технологическим процессом с периодическим восстановлением параметров. Например, обычно шлифовальный круг правят после обработки определенного количества заготовок.

Также возможно обеспечить стабильность по некоторым заданным параметрам  $y_i$  при  $z_i(\tau) = \text{const}$  выбором  $U_1^*(\tau_0)$  за счет более быстрого изменения «маловлиятельных» состояний  $z_i(\tau) = \text{var}$ . Например, для черного шлифования считаются целесообразными такие  $U_1^*(\tau_0)$ , при которых круг работает в режиме самозатачивания. Недостатком рассмотренного является повышенная скорость изменения «маловлиятельного» состояния  $z_j(\tau)$ , которая может привести к выходу из поля допусков других показателей качества  $y_j$  и, в соответствии с (2), – снижению и потере стабильности по этим факторам.

При определении необходимых параметров  $U_1^*(\tau_0)$  для таких методов обеспечения стабильности качества обычно достаточно поведенческого описания технологического процесса.

Все вышеперечисленные алгоритмы не обеспечивают одновременную стабилизацию параметров качества в условиях случайных возмущений  $\Omega(\tau)$ , что недопустимо для операций чистового и тонкого шлифования, для которых допуски  $\epsilon_k$  являются малыми величинами.

При проектировании технологических процессов абразивно-алмазной обработки за основу берутся детерминированные модели, по которым рассчитывается традиционные или традициограничные циклы шлифования, осуществляется обработка партии заготовок, после чего систему перестраивают на обработку другого типоразмера или вида. В результате этого технологический процесс осуществляется с применением традиционных режимов резания, способов диагностики и управления.

Вместе с тем процессы шлифования имеют сложную стохастическую природу. В процессе резания изменяются параметры не только объекта, но и самой ТС. Это приводит к нестабильности качества изделий и не позволяет в полной мере использовать значительные технологические возможности чистового и тонкого шлифования как финишной операции.

На операциях заточки и тонкого шлифования обработка заготовок выполняется в условиях непостоянства параметров технологической системы обработки и окружающей среды. Изменя-

ется состояние рабочей поверхности абразивного инструмента, состав и свойства СОТС, параметры жесткости технологической системы, температура окружающей среды и т. д. Изменение одних параметров протекает за период обработки одной детали, других – в течение смены, третьих – в течение более длительного периода.

Для условий  $Z(\tau) = \text{var}$  вектор управления  $U^*(\tau)$  должен выбираться с учетом изменения  $Z(\tau)$ , и для каждой детали (или ее элемента)  $m$  необходимо подбирать новое управление  $U_m^*(\tau)$ .

**Выводы.** Предложен алгоритм снижения температуры в зоне контакта для обеспечения стабильности параметров качества поверхностей при шлифовании на основе системного анализа операции, отражающей взаимодействие ее состояний  $Z(\tau)$ .

Изучены основные закономерности процессов формообразования поверхностей и разработаны научно обоснованные подходы для создания комплексных динамических моделей получения оптимальных конструкций абразивного инструмента.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Абразивная и алмазная обработка материалов. Справочник / под ред. проф. А. Н. Резникова. – М. : Машиностроение, 1977. – 390 с.
2. Новоселов Ю. К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке / Ю. К. Новоселов. – Севастополь : СевНТУ, 2012. – 304 с.
3. Tribology of abrasive machining processes / [Ioan D. Marinescu, W. Brian Rowe, Boris Dimitrov, Ichiro Inasaki] / Norwich, NY : William Andrew, Inc., 2004. – 764 p.
4. Анализ рынка станков для обработки материалов в России в 2008–2012 гг., прогноз 2013–2017 гг. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://businessstat.ru/russia/engineering/engineering\\_tools/](http://businessstat.ru/russia/engineering/engineering_tools/).
5. Бессарабова Т. М. Парки металлообрабатывающего оборудования США, ФРГ, Великобритании, Японии, Франции и Италии : обзор / Т. М. Бессарабова, Ф. Б. Любомирская, И. А. Яменева. – М. : ВНИИТЭМР, 1991. – 80 с.
6. Зубарев Ю. М. Современные инструментальные материалы / Ю. М. Зубарев. – СПб. : Лань, 2008. – 224 с.
7. Инструментальные материалы / [Г. А. Воробьева, Е. Е. Складнова, А. Ф. Леонов, В. К. Ерофеев]. – СПб. : Политехника, 2005. – 268 с.
8. Палей М. М. Технология шлифования и заточки режущего инструмента / М. М. Палей, Л. Г. Дибнер, М. Д. Флид. – М. : Машиностроение, 1988. – 288 с.
9. Кулаков Ю. М. Предотвращение дефектов при шлифовании / Ю. М. Кулаков, В. А. Хрульков, И. В. Дунин-Барковский. – М. : Машиностроение, 1975. – 144 с.

10. Дворин Ю. М. Разработка бесприжоговой технологии шлифования фасонного инструмента из безвольфрамовых быстрорежущих сталей : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.02.08 «Технология машиностроения» / Ю. М. Дворин. – М., 2003. – 20 с.
11. Исследование процессов шлифования сложнорежущего инструмента из быстрорежущей стали Р6М5 : отчет о НИР. – Одесса : ОПИ, 1974.
12. Рыжов Э. В. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин / Э. В. Рыжов, А. Г. Суслов, В. П. Федоров. – М. : Машиностроение, 1979. – 176 с.
13. Ларшин В. П. Статистический контроль работоспособности технологических систем по критерию стабильности / В. П. Ларшин // Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве : труды 5-й международной научно-технической конференции ХНПК «ФЭД». – Харьков, 2002 – С. 31–32.
14. Ларшин В. П. Интегрированная технологическая система шлифования сложнопрофильных деталей : автореф. дис. ... докт. техн. наук. : спец. 05.02.08 «Технология машиностроения» / В. П. Ларшин. – Одесса, 1995. – 33 с.