
Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования

«Севастопольский государственный университет»

№ 4(28)

2022

Выходит 4 раза год

ВЕСТНИК СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Сборник научных трудов

Севастополь 2022

*Учредитель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Севастопольский государственный университет»*

ВЕСТНИК СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ 2022 г. №4 (28)

*Сборник научных трудов. Издание основано в 2016 году. Периодичность - 4 номера в год.
Свидетельство о регистрации средства массовой информации выдано Федеральной службой по надзору в сфере
связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Серия № ФС 77 – 64121 от 25.12.2015 г.*

*Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)
и размещается в научной электронной библиотеке (Elibrary.ru)*

*Свидетельство о регистрации в национальном центре ISSN и присвоение международного стандартного номера
серийного издания (International Standard Serial Number) 2618-8201 от 06.07.2018 г.*

*В сборнике научных трудов публикуются статьи по следующим научным специальностям:
2.5.6 Технология машиностроения, 2.5.5. Технология и оборудование механической и физико-технической
обработки, 2.6.5. Порошковая металлургия и композиционные материалы;
2.6.17. Материаловедение (по отраслям)*

Главный редактор:

д.т.н., проф. Братан С.М.

Зам. главного редактора:

к.т.н., доц. – Рошупкин С.И.

Научный редактор:

к.т.н., проф. Харченко А.О.

Отв. секретарь:

д.т.н., проф. Покинтелица Н.И.

Редакционная коллегия

*Абдулгизис У.А. д. т. н., проф. (г. Симферополь), Глезер А. М. д. ф-м. н, проф. (г. Москва),
Бохонский А.И. д. т. н., проф. (г. Севастополь), Дуюн Т.А. д. т. н., доц. (г. Белгород),
Козлов А.М. д. т. н., проф. (г. Липецк),
Копп В.Я. д. т. н., проф. (г. Севастополь), Малышева Г.В. д. т. н., проф. (г. Москва),
Носенко В.А. д. т. н., проф. (г. Волжский), Обжерин Ю.Е. д. т. н., проф. (г. Севастополь),
Новоселов Ю.К. д. т. н., проф. (г. Севастополь), Пашиков Е.В. д. т. н., проф. (г. Севастополь),
Суслов А.Г. д. т. н., проф. (г. Москва), Федонин О.Н. д. т. н., проф. (г. Брянск),
Ярошенко А.А. д. т. н., проф. (г. Севастополь)*

Мнение авторов статей, представленных в сборнике научных трудов, может не совпадать с мнением редакции.
Все статьи проходят обязательное рецензирование и проверку сервисом «Антиплагиат».
Издание осуществлено на средства авторов и распространяется бесплатно.

Дата выхода в свет: 22.12.2022 г.

Тираж: 100 экз. Заказ №209.

Адрес редакции: 299053, г. Севастополь, ул. Гоголя, д. 14, каб. 106, <http://sevsu.ru/nauka/pechatnye-izdaniya>;
Телефон редакции: 8(692)41-77-41 добавочный 1362; e-mail: vst_sevsu@mail.ru
Адрес издателей: ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», бульвар 50 лет Октября,
д.7, Брянск, 241035, Российская Федерация; ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул.
Университетская, 33, Севастополь, 299053, Российская Федерация.
Адрес типографии: г. Севастополь, ул. Рыбаков, 7 оф. 107.

© ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Братан С.М. Проблема обеспечения стабильности параметров качества при высокопроизводительной финишной обработке деталей машин.....	4
Часовитина А.С. Анализ существующих моделей процесса формообразования поверхностей при шлифовании.....	12
Братан С.М., Тищенко И.В., А.О. Харченко, Часовитина А.С. Разработка компоновки резьбонарезного станка на основе инструментальной головки револьверного типа и механизма параллельных структур (МПС) с помощью морфологического анализа.....	19
Фисоченко Ю.А., Колесов А.Г. Повышение качества обработки деталей из алюминиевых сплавов на фрезерных станках с ЧПУ.....	27
Корчевский С.В., Стадник Т.В., Леонова Е.А. Перспективные направления развития микрошлифовальных инструментов.....	32
Гордеева Э.С. Влияние прочности границ раздела на трещиностойкость различных материалов.....	37

УДК 621.01

ПРОБЛЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ПРИ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

С.М. Братан¹

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Россия

АННОТАЦИЯ

В статье приведен теоретический анализ путей повышения стабильности параметров качества при высокопроизводительной финишной обработке деталей машин показано, что существующие ТС и ТП не позволяют уменьшить разброс параметров изделий. Для компенсации воздействия возмущений обычно пытаются использовать замкнутые системы с приборами активного контроля. Однако, вследствие отсутствия адекватных моделей протекающих процессов, возмущений ТС, комплекса средств диагностики, недоступности ряда параметров непосредственному измерению и контролю, они не получили широкого распространения. Обеспечение качества и эффективности операций чистового и тонкого шлифования возможно только на основе комплексных динамических моделей, учитывающих стохастический характер протекающих процессов, на основе которых должны быть синтезированы системы автоматической стабилизации.

Ключевые слова: стабильность, параметры качества, шлифование, производительность обработки, себестоимость, возмущения, замкнутые системы.

THE PROBLEM OF ENSURING THE STABILITY OF QUALITY PARAMETERS DURING HIGH-PERFORMANCE FINISHING OF MACHINE PARTS

S.M. Bratan¹

¹ Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

ABSTRACT

The article presents a theoretical analysis of ways to increase the stability of quality parameters during high-performance finishing of machine parts. It is shown that the existing TS and TP do not allow to reduce the spread of product parameters. To compensate for the effects of disturbances, they usually try to use closed systems with active monitoring devices. However, due to the lack of adequate models of ongoing processes, vehicle disturbances, a set of diagnostic tools, the unavailability of a number of parameters to direct measurement and control, they have not become widespread. Ensuring the quality and efficiency of finishing and fine grinding operations is possible only on the basis of complex dynamic models that take into account the stochastic nature of the ongoing processes, on the basis of which automatic stabilization systems should be synthesized.

Keywords: stability, quality parameters, grinding, processing performance, cost, disturbances, closed systems.

Постановка проблемы. Переход к рыночным отношениям в экономике выдвинул на передний план проблемы связанные с выпуском конкурентоспособной продукции в машиностроении и приборостроении. «Потребителям необходима продукция, характеристики которой удовлетворяли бы их запросы и ожидания» [1]. Высокий уровень требований к современным машинам и приборам обусловил ряд проблем, связанных с созданием высокопроизводительных технологических процессов, обеспечивающих изготовление деталей с заданными параметрами качества. Параметры качества определяют функциональную пригодность деталей (возможность собираемости в сборочные единицы, узлы и агрегаты, обеспечение герметичности стыков и др.), их эксплуатационные характеристики (усталостную прочность, коррозионную стойкость, износостойкость, контактную жесткость [2].

Окончательно параметры формируются на финишных операциях, в числе которых особое место по применимости принадлежит чистовому и тонкому шлифованию. К таким операциям относятся все виды абразивного, алмазного и комбинированного шлифования [3], обеспечивающие обработку изделий по 7-6 квалитету при чистовом и 6-5 квалитетам – при тонком шлифовании.

В настоящее время в автомобильной и в подшипниковой промышленности ведущих капиталистических стран США, Германии, Италии, Франции, Японии более 40 % трудоемкости механической обработки приходится на долю чистового и тонкого шлифования и по технико-экономическим прогнозам, ожидается дальнейший рост этого показателя [2].

Фундаментальные положения обеспечения качества в теории шлифования освещены в исследованиях: Аврутина Ю.Д., Байкалова А.В., Бакуля В.Н., Богомолова Н.И., Бокучавы Г.В., Евсеева Л.Г., Королева А.В., Корчака С.Н., Лоладзе Т.Н., Лурье Г.Б., Маслова Е.Н., Новоселова Ю.К., Островского В.И., Подураева В.Н., Попова С.А., Редько С.Г., Резникова А.Н., Рыжова Э.В., Саютина Г.И., Старкова В.К., Федосеева О.Б., Филимонова Л.Н., Худобина Л.В., Якимова А.В. и многих других [3-19].

Представленные работы освещают широкий спектр проблем, возникающий при чистовом и тонком шлифовании, посвящены созданию технологических процессов, обеспечивающих качественную обработку деталей, позволяют решать комплекс задач, направленных на существенное повышение производительности обработки, уменьшение себестоимости производства изделий, улучшение качества выпускаемой продукции, а также повышение культуры производства и безопасности труда. В них показана необходимость дальнейшего повышения производительности чистового и тонкого шлифования, но отсутствуют рекомендации позволяющие обеспечить стабильности параметров качества при высокопроизводительной финишной обработке деталей машин.

В настоящее время при проектировании технологических процессов абразивно-алмазной обработки, за основу берутся детерминированные модели, по которым рассчитывается традиционные или традиционно-границные 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 [10-21].

Вместе с тем, процессы шлифования имеют сложную стохастическую природу. В процессе резания изменяются не только параметры 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.

Цель статьи. Анализ существующих подходов и методов обеспечивающих повышение стабильности параметров качества изделий при высокопроизводительном чистовом шлифовании

Изложение основного материала. Основной характеристикой качества всех технологических систем является способность выполнять заданные функции в течение определённого промежутка времени. В свою очередь, указанная способность характеризуется параметрами и показателями качества (ПК) технологических процессов изготовления ее элементов и системы в целом. Постоянство ПК во времени является важнейшей характеристикой качества технологических систем и характеризует стабильность функционирования изготовленной системы. При форсированных технологических режимах в силу возрастания чувствительности ТС к возмущающим факторам наблюдается потеря стабильности ТС и ТП [4]. Под стабильностью ТС понимается «способность выполнять требуемую рабочую функцию на определённом промежутке времени» [5], а под стабильностью технологического процесса (ТП) понимается свойство «сохранять показатели качества изготовления продукции в заданных пределах в течение некоторого промежутка времени» [6].

Отсутствие требуемой стабильности изготовления элементов системы является отрицательной характеристикой, которая может проявиться в виде потери системой в целом заданных технических характеристик. Особенно высокие требования к стабильности ПК предъявляются при серийном, крупносерийном и массовом производстве, когда появляется возможность использовать автоматизированное оборудование.

Например, при производстве металлорежущих станков, каждый станок может иметь после сборки различную точность позиционирования рабочих органов, что обусловлено погрешностями изготовления каждой из деталей на финишных операциях, так как именно на них формируется окончательное качество деталей, которое непосредственно влияет на качество станка в целом. В то же время, стремление интенсифицировать процесс обработки заготовок на этих операциях приводит к снижению ПК и потере их стабильности вследствие влияния неучтенных переменных технологических факторов производства.

В качестве примера можно рассмотреть изменение шероховатости поверхности плунжеров топливного насоса (рисунок 1.)

Технологический процесс чистового и тонкого шлифования является сложным входных, управляющих и возмущающих воздействий, то необходимо рассмотреть его как систему. Принципиальная возможность рассматривать технологический процесс как техническую систему доказана в работе [21].

Методами системного анализа можно провести декомпозицию воздействий со стороны окружающей среды на технологический процесс на: измеряемую и управляемую часть – вектор управления $U(\tau)$; измеряемую, но неуправляемую часть – вектор входных переменных $X(\tau)$; не измеряемую (и, тем более, неуправляемую часть) – вектор $\Omega(\tau)$.

Внутри каждого из указанных векторов можно выделить компоненты, характеризующие факторы, воздействующие на технологический процесс (рисунок 2).

Состояние технологического процесса отображается вектором $Z(\tau)$. При этом доступная измерению часть $Z(\tau)$ является вектором выходных переменных $Y(\tau)$. Часть выходных переменных $Y(\tau)$ определяет единичные показатели качества $y_k(\tau)$, по которым целесообразно вести оценку стабильности технологического процесса.

Согласно общепринятым представлениям, например [5], под стабильностью понимают свойство технологического процесса сохранять показатели качества изготовления продукции в заданных пределах в течение некоторого промежуточного времени.

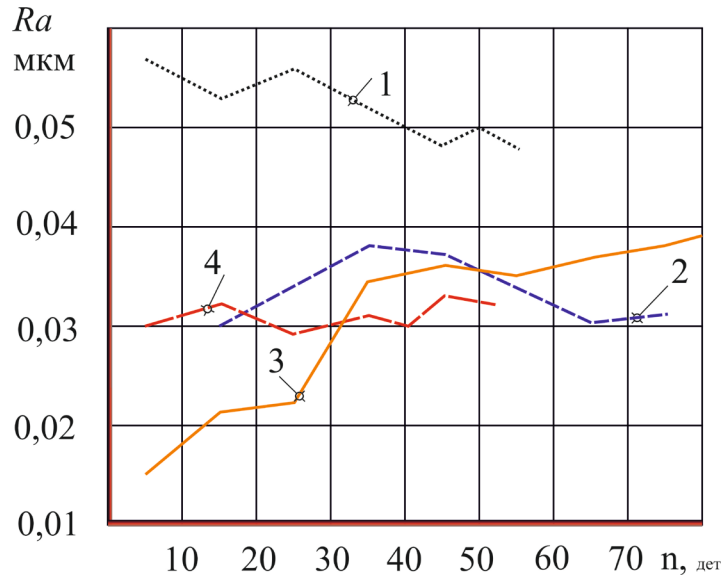


Рисунок 1. Изменение шероховатости поверхности плунжеров топливного насоса из стали ШХ15 при шлифовании на станке РНУ-500 кругами: 1– 1 400 x32x127 63С М20 Н 6 В; 2 – 1 400 x40x127 63С М14 Н 6 ВЕ; 3 – 1 400 x32x127 63С F220 J 6 V; 4 – 1 400 x40x127 63С М14 I 6 V. Режим шлифования: $V_k = 29$ м/с; $V_u = 0,16$ м/с; $S_n = 32$ мм/с; $S = 0,8$ мкм/дв. ход (по данным Ю.К. Новоселова [10].)

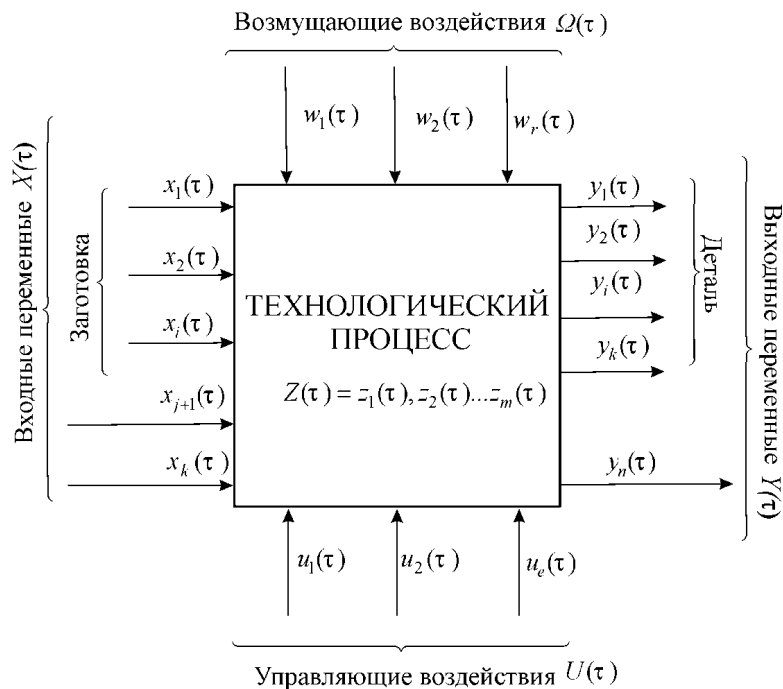


Рисунок 2. Технологическая операция

Следовательно,

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

где ε_k – заданный предел изменения k -го показателя качества, $(\tau_0 \dots \tau_f)$ – заданный интервал времени, в течение которого должны сохраняться показатели качества. Эти показатели должны находиться в пределах заданного поля допуска

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

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 технологический 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 среднее квадратическое отклонение контролируемого параметра σ_{y_k} , т.е.

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

Обеспечение стабильности соответствующих показателей производится за счет выбора компонент вектора $U(\tau)$ (рисунок 2).

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} (рисунок 3.), который минимизирует вероятность появления бракованных деталей [7]. Обычно указанную задачу решают путем соответствующей фиксированной настройки станка $U_0^*(\tau_0)$, обеспечивавшей заданные параметры в течение максимально достижимого интервала времени [11].

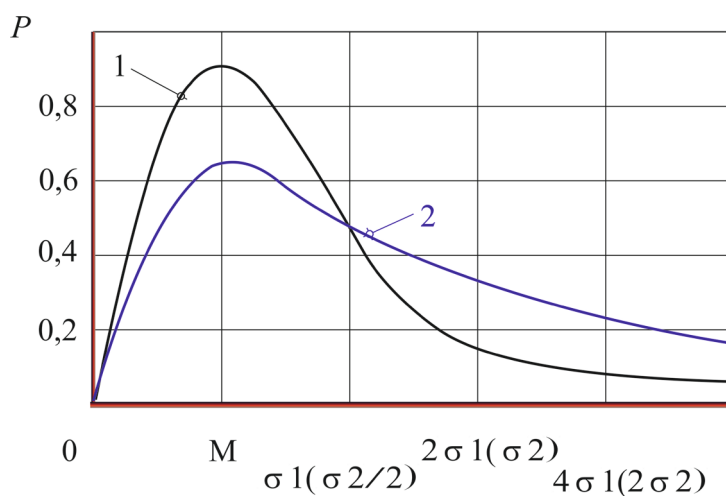


Рисунок 3. Изменение положения центра рассеивания внутри поля допуска при различных параметрах настройки

В качестве примера реализации такого метода рассмотрено производство распределительных валов на Калужском моторном заводе концерна Volkswagen [10]. Для оценки стабильности ПК отобраны три партии изделий, обработанных в течение одной недели. Каждая партия содержит по 10 валов, у всех валов замеры биения и шероховатости поверхности опорных шеек. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты замеров ПК поверхности шеек распределительных валов

N Партии	Биение опорных шеек, Δ мм			Шероховатость поверхности шеек, R_a мкм		
	Max	min	Дисперсия σ^2 МКМ ²	max	min	Дисперсия σ^2 МКМ ²
1	0.025	0.01	6.4	0.63	0.41	1.3×10^{-3}
2	0.023	0.009	5.3	0.62	0.51	0.4×10^{-3}
3	0.024	0.012	4.0	0.63	0.46	0.7×10^{-3}

Из 30 валов биение, не превышающее заданный допуск, имели 28 валов. Один вал из первой и один вал из третьей партии по этому параметру были отбракованы. Наиболее стабильной по параметрам оказалась вторая партия. Из нее и не было отбраковано ни одного изделия.

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 параметров $X(\tau)$ 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 $(\tau_0 \dots \tau_f)$ задания $U_0^*(\tau_0)$, т.е. более частой настройкой параметров технологического процесса и представляет алгоритм управления технологического процесса с периодическим восстановлением параметров. Например, обычно шлифовальный круг правят после обработки определенного количества заготовок.

Также возможно обеспечить стабильность по некоторым заданным параметрам y_i ($z_i(\tau) = \text{const}$) выбором $U_1^*(\tau_0)$ за счет более быстрого изменения «маловлиятельных» состояний $z_j(\tau) = \text{var}$. Например, для чернового 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 соответствие (2.2), – 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 ε_k являются малыми величинами.

На операциях чистового и тонкого шлифования обработка заготовок также выполняется в условиях непостоянства параметров технологической системы обработки и окружающей среды. Изменяется 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 таких условий $Z(\tau) = \text{var}$, вектор управления $U^*(\tau)$ должен выбираться с учетом изменения $Z(\tau)$, и для каждой детали m необходимо подбирать новое управление $U_m^*(\tau)$.

Для обеспечения стабильности заданных параметров качества поверхностей применение традиционных методов и средств при высокопроизводительном чистовом и тонком шлифовании практически исчерпало свои возможности и требует детализированного изучения этих технологических операций как системы, отражающей взаимодействие состояний $Z(\tau)$.

Выводы:

– Параметры технологической системы могут изменяться с течением времени предсказуемым и непредсказуемым образом под действием различных факторов, важным показателем качества технологических систем (ТС) обработки деталей и особенно ТС финишных операций является их стабильность, отсутствие стабильности при традиционных технологиях неизбежно приводит к разбросу показателей качества выпускаемой продукции.

– Существующие ТС и ТП не позволяют уменьшить разброс параметров изделий. Так, например, по данным фирмы TOYOTA, в результате испытаний распределительных валов при снижении волнистости до 0,3 мкм и ужесточение полей допусков на 25%, их срок службы повысился в 2,5 раза, а в результате испытаний коленчатых валов на предприятиях фирмы Volkswagen при снижении допуска по шероховатости шейки вала до 0,32 мкм их срок службы повысился в 1,7 раза. Однако, при этом процент изделий, произведенных по традиционным технологиям, не попавших в указанные допуски, превысил 60-70% на всех предприятиях, проводивших испытания.

– Для компенсации воздействия возмущений обычно пытаются использовать замкнутые системы с приборами активного контроля. Однако, вследствие отсутствия адекватных моделей протекающих процессов, возмущений ТС, комплекса средств диагностики, недоступности ряда параметров непосредственному измерению и контролю, они не получили широкого распространения.

– Обеспечение качества и эффективности операций чистового и тонкого шлифования возможно только на основе комплексных динамических моделей, учитывающих стохастический характер протекающих процессов.

– При стабилизации качества изделий при чистовом и тонком шлифовании необходимо комплексное решение всех вышеуказанных задач, которые представляют собой нерешенную до настоящего времени проблему.

Список литературы

1. Malkin S. Grinding Technology: Theory and Applications of Machining with Abrasives / S. Malkin, C. Guo // Industrial Press, New York, USA (2008):

2. Корчак С.Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей / С.Н. Корчак // М.: Машиностроение, 1974. - 280 с.
3. Novoselov Yu. Analysis of Relation between Grinding Wheel Wear and Abrasive Grains Wear / Yu. Novoselov, S. Bratan, V. Bogutsky // Procedia Engineering 150 (2016) 809 – 814.
4. Leonesio M., A Time-Domain Surface Grinding Model for Dynamic Simulation / Marco Leonesio, Paolo Parenti, Alberto Cassinari, Giacomo Bianchi, Michele Monn // Procedia CIRP 4 (2012) 166 – 171.
5. Королев А.В. Исследование процессов образования поверхностей инструмента и детали при абразивной обработке / А.В. Королев // Саратов: 1975. – 189 с.
6. Новоселов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке / Ю.К. Новоселов // Севастополь: изд-во СевНТУ, 2012. – 304с.
7. Братан С. М. Технологические основы обеспечения качества и повышения стабильности высокопроизводительного чистового и тонкого шлифования. - Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.08 – Технология машиностроения, –Одесский национальный политехнический университет, Одесса, 2006. – 321с.
8. Братан С.М. Анализ влияния колебаний, передаваемых через фундамент станка, на качество процесса шлифования / С.М. Братан, Е.А. Владецкая. // Вестник НТУ «ХПИ»: Сб. научн. трудов. — Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. – № 35 – С. 13-22.
9. Владецкая Е.А. Повышение виброустойчивости шлифовальных станков плавучих ремонтных мастерских / Е.А. Владецкая, С.М. Братан, А.О. Харченко // Сучасні технології в машинобудуванні: Зб. наук. праць. – Харків: НТУ «ХПИ», 2012. – Вип.7 – С. 103-111.
10. Владецкая Е.А. Оценка параметров качества шлифуемой поверхности / Е.А. Владецкая, С.М. Братан // Прогрессивные направления развития машино-приборостроения, транспорта и экологии: матер. междунар. научн.-техн. конф. студ., аспирант. и мол. ученых, г. Севастополь, 20-23 мая 2013 г. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2013.– С. 186-188.
11. Владецкая Е.А. Обеспечение качества шлифовальной обработки путем автоматизации виброзащиты станка в условиях плавучей мастерской / Е.А. Владецкая, С.М. Братан, А.О. Харченко // Современные инженерные и инженерно-педагогические технологии: – Симферополь: ДАЙПИ, 2015. – С.82-85.
12. Братан С.М. Анализ и синтез системы виброизоляции шлифовального станка с учетом эксплуатационной надежности ее элементов / С.М. Братан, А.О. Харченко, Е.А. Владецкая // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты), 2019. – Том 21, №1. – С. 35-49. doi: 10.17212/1994-6309-2019-21.1-35-49.
13. Братан С.М. Исследование надежности виброизолирующего устройства шлифовального станка / С.М. Братан, Е.А. Владецкая // Наукоемкие технологии в машиностроении. – Брянск: ФГБОУ ВО «БГТУ», 2016. №9 (63). – С. 10-15.
14. Маталин А.А., Технология машиностроения, Учебник для студентов вузов / А.А. Маталин // Ленинград, изд-во "Машиностроение", Ленинградское отделение, 1985 год
15. Кузнецов Ю.Н. Теория технических систем: учебник / Ю.Н. Кузнецов, Ю.К. Новоселов, И.В. Луцыв. – Севастополь: СевНТУ, 2010. – 252 с.

УДК 621.01

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

А.С. Часовитина¹

¹*ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Россия*

АННОТАЦИЯ

В статье проведен анализ существующих расчетных схем и математических моделей операции шлифования, в ходе которого установлено, что в настоящее время сформировался новый подход к оптимизации и управлению процессом шлифования, основанный на статистико-вероятностном представлении параметров рельефа круга и кинематико-вероятностном описании закономерностей съема металла при шлифовании. По сравнению с традиционным подходом, рассматривающим процесс удаления припуска и участие зерен в резании с геометрических позиций, такой подход обладает более широкими возможностями, позволяет в максимальной степени учесть специфику строения круга и приблизить расчетную схему шлифования к реальной. Вместе с тем использование существующих моделей и алгоритмов для расчета параметров циклов программного управления операциями абразивного, алмазного и комбинированного шлифования в условиях автоматизированного производства затруднено, так как каждый из этих процессов имеет независимое друг от друга математическое описание. Несмотря на многообразие математических моделей на сегодняшний день не существует методики позволяющей с единых позиций проектировать циклы управления процессами шлифования, которые бы обеспечивали стабильность требуемых параметров точности и других показателей качества для наиболее распространенных схем абразивного, алмазного и комбинированного шлифования в связи с отсутствием комплексной универсальной математической модели процесса.

Ключевые слова: шлифование, абразивный инструмент, погрешность формы, точность, пространственные отклонения, вероятностные модели, математические модели, операции шлифования.

ANALYSIS OF EXISTING MODELS OF THE SURFACE SHAPING PROCESS DURING GRINDING

A.S. Chasovitina¹

¹*Sevastopol State University, Sevastopol, Russia*

ABSTRACT

The article analyzes the existing computational schemes and mathematical models of the grinding operation, during which it is established that a new approach to optimizing and controlling the grinding process has been formed, based on a statistical-probabilistic representation of the parameters of the relief of the circle and a kinematic-probabilistic description of the laws of metal removal during grinding. Compared with the traditional approach, which considers the process of removing the allowance and the participation of grains in cutting from geometric positions, this

approach has wider possibilities, allows you to take into account the specifics of the structure of the circle to the maximum extent and bring the design scheme of grinding closer to the real one. At the same time, the use of existing models and algorithms for calculating the parameters of the cycles of software control of abrasive, diamond and combined grinding operations in automated production conditions is difficult, since each of these processes has an independent mathematical description. Despite the variety of mathematical models, to date there is no methodology that allows from a single position to design cycles for controlling grinding processes that would ensure the stability of the required accuracy parameters and other quality indicators for the most common schemes of abrasive, diamond and combined grinding due to the lack of a comprehensive universal mathematical model of the process.

Keywords: grinding, abrasive tool, shape error, accuracy, spatial deviations, probabilistic models, mathematical models, grinding operations.

Постановка проблемы. В связи с быстрым развитием электронно-вычислительной техники и управляющих устройств появилась острая необходимость в адекватных математических моделях процессов шлифования, поскольку на этих операциях формируется окончательное качество поверхности детали. Модели нужны для математического обеспечения систем автоматизированного проектирования технологических процессов, создания оптимальных конструкций инструментов, проектирования современных станков, решения вопросов технологического обеспечения эксплуатационных свойств машин и приборов [1].

Целью статьи является анализ существующих моделей процесса формообразования поверхностей при шлифовании с целью выработки рекомендаций для использования существующих моделей и алгоритмов для расчета параметров циклов программного управления операциями абразивного, алмазного и комбинированного шлифования в условиях автоматизированного производства

Анализ литературы. Все работы, связанные с теоретическим изучением процессов формообразования поверхностей при шлифовании, можно разделить на две группы. К первой относятся исследования, в которых процесс рассматривается как совокупность воздействий на обрабатываемую поверхность единичных абразивных зерен круга (импульсная модель). Это работы Г.Ж. Эльдена, Е.Н. Маслова, И.М. Брозголя, Д.И. Волкова, Д.В. Королева, А.А. Маталина, Новоселова, В.А. Носенко, А.В. Никольского, А.В. Якимова, П.И. Ящерицына, Г. Кассена, Г. Вернера и ряда других исследователей [1]. При анализе процесса формирования микрорельефа обработанной поверхности импульсная модель рассматривает шероховатость как совокупность царапин, каждая из которых в сечении, перпендикулярном вектору скорости резания, соответствует профилю вершины абразивного зерна.

Ко второй группе можно отнести работы, в которых предполагается, что профиль поверхности образуется как результат последовательного геометрического наложения некоторого числа элементарных режущих профилей (геометрическая модель). На такой основе выполнены исследования по механизму образования микрорельефа поверхности Ю.Д. Аврутиным, Ж. Пеклеником, Н.Т. Макадамсом, Н. Окамура, Л.Н. Филимоновым, В.А.Щеголевым и другими учеными [2]. Появление геометрической модели связано с успехами математического описания шероховатости для поверхностей нерегулярного профиля. Фундаментальные исследования в этом направлении были выполнены Ю.В. Линником, А.П. Хусу, Ю.Р. Витенбергом, С.А. Поповым, Я.А. Рудзитом, Н.Цува и другими исследователями [3].

Изложение основного материала. При использовании геометрической модели вся поверхность круга разделяется на ряд участков, рисунок 1. На каждом участке профили

абразивных зерен (режущих кромок) сносятся в одну плоскость. Модель процесса уподобляется цилиндрическому фрезерованию, причем каждый зуб такой "фрезы" представляет собой "элементарный режущий профиль". Этот профиль оставляет на детали группу рисок, форма которых соответствует форме вершин кромок профиля. Расстояние между соседними элементарными «режущими профилями» равно расстоянию между режущими кромками на уровне глубины шлифования. Для получения "эффективного режущего профиля" производится наложение элементарных режущих профилей со смещением их по высоте [4].

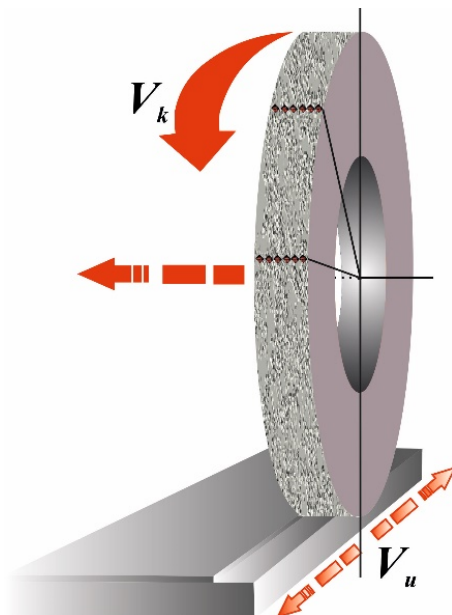


Рисунок 1. Схема образования шлифованной поверхности при моделировании рабочей поверхности круга элементарными режущими профилями

Таким образом, может быть получен микрорельеф шлифованной поверхности и рассчитаны математическое ожидание, дисперсия и автокорреляционная функция. В работе Ж. Пекленика [5] интерпретируется режущий профиль как стационарный случайный процесс. Все режущее пространство задается вектором средних и матрицей взаимных корреляционных функций. В работе Л.Н.Филимонова [6] рассматривается методика геометрического построения микрорельефа шлифованной поверхности. Анализируя эти работы, можно сделать заключение, что основной трудностью при использовании геометрической модели является сложность определения элементарного и эффективного режущих профилей. Элементарный профиль представляет собой сечение рельефа круга плоскостью, перпендикулярной вектору скорости резания. Его определяют чаще всего методами профилографирования. Для построения одного эффективного профиля в зависимости от режимов шлифования, характеристики инструмента, диаметров детали и круга необходимо иметь и совместить от 100 до 500 элементарных профилей. В работе В.А. Щеголева, М.Е. Улановой [1] параметры эффективного профиля вычисляются на ЭВМ методом Монте-Карло с применением специальных моделирующих приставок.

Другим недостатком геометрической модели является также невозможность выполнения с ее позиций анализа закономерностей износа и разрушения единичных абразивных зерен, сил резания, разработки методики аналитического расчета параметров точности обработанной поверхности. Кроме того, геометрическая модель не учитывает и такие важные факторы, как пластические и упругие деформации обрабатываемого материала. По

данным Н.И. Богомолова, А.А. Маталина, пластические деформации являются физической основой процессов абразивно-алмазной обработки и процессов формирования микрорельефа шлифованной поверхности.

Первая импульсная модель процесса шлифования была предложена в 1914 году Эльденом. По схеме Эльдена абразивные зерна следуют одно за другим, находясь в одной плоскости и на одинаковом расстоянии от центра вращения шлифовального круга (рисунок 2). При вращении все зерна, расположенные на режущей поверхности, участвуют в работе, снимая стружки в виде запытой. Схема, предложенная Эльденом, была всесторонне рассмотрена и уточнена Е.Н.Масловым. Им получены зависимости для вычисления дуги контакта единичных абразивных зерен и максимальной толщины единичных срезов.

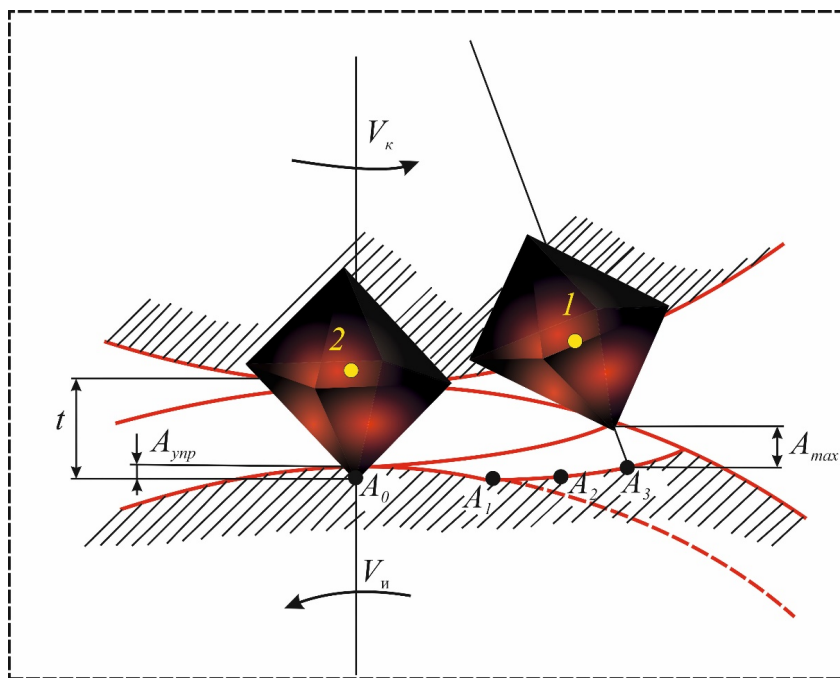


Рисунок 2. Схема образования шлифованной поверхности при упорядоченном расположении абразивных зерен на рабочей поверхности инструмента

Для чистовых процессов шлифования рассмотренная схема мало приемлема. По данным А.В. Никольского, число единичных срезов, имеющих форму запытой, не превышает 10%, по данным П.И. Ящерицына [34], – 15...18%. С.А. Попов доказывает, что случаи прохождения одного зерна в след другого наблюдаются очень редко. Несовпадение траекторий движения вершин приводит к смещению одной риски относительно другой, к беспорядочному их расположению, что необходимо учитывать при анализе процессов шлифования. Для создания адекватных моделей необходимо максимально приблизить расчетную схему к реальному процессу.

Дальнейшее развитие импульсная модель получила в работах Е. Кассена и Г. Вернера [2]. При исследовании процесса шлифования они учитывают, что абразивные зерна расположены на различном расстоянии от центра вращения круга и поэтому внедряются в обрабатываемый материал на различную глубину. Основное же положение, что зерна следуют одно за другим, сохраняется неизменным.

Несколько иные схемы процесса шлифования анализируются в работах И. Мацуи, Ж. Тамаки, М. Сейки, С. Катсуо и И.М. Брозголя. И.М. Брозголь за основу берет положение, что

абразивные зерна срезают стружки в виде сегмента, причем каждый единичный срез не накладывается на предшествующий. По данным А.В. Никольского, число единичных срезов по этой схеме не превышает 50% при всех условиях шлифования. Подробный анализ работ М. Мацуи, М. Сейки и С. Катсуо выполнен в книге А.К. Байкалова. Общим недостатком перечисленных моделей является то, что они не позволяют описать механизм шлифования с учетом сложных физических процессов износа и затупления абразивного инструмента.

Новый подход к анализу процессов обработки деталей абразивными и алмазными инструментами рассматривается в работах А.В. Королева [1], А.Н. Резникова, О.Б. Федосеева. При анализе процесса учитывается, что абразивные зерна расположены на рабочей поверхности случайным образом и на различных уровнях.

В работах А.В. Королева выполнено описание профиля единичных зерен, законов их распределения по поверхности, исследовано влияние правки на число и распределение зерен, предложены зависимости для прогнозирования параметров шероховатости по фактической глубине резания. В работах О.Б. Федосеева рассматриваются вопросы аналитического расчета параметров шероховатости поверхности при обработке деталей алмазными инструментами. Работы внесли определенный вклад в развитие теории формообразования, но полностью не решили проблемы прогнозирования качества и управления процессом. В них не рассматриваются изменения, возникающие в технологической системе за период обработки одной детали и стойкости инструмента, учитывается только одна из сторон процесса – его стохастическая природа. Все расчеты выполнены для неизменных, установившихся условий шлифования (постоянство режимов резания, геометрии режущих кромок, числа зерен и т.д.). В силу отмеченных недостатков модели не позволяют прогнозировать изменение параметров качества за цикл обработки детали, вычислять параметры шероховатости по номинальным подачам, прогнозировать съем металла, износ круга, точность обработки и ряд других технико-экономических показателей. Чтобы решить эти вопросы, нужен новый подход, основанный на признании не только стохастической, но и динамической сущности процесса.

При анализе существующих моделей процесса шлифования необходимо также особо отметить работы, связанные с экспериментальным и теоретическим исследованием влияния технологических факторов на параметры точности и качество поверхностей.

На параметры точности наибольшее влияние оказывают геометрическая точность станка, жесткость технологической системы, точность установки детали, режим резания, физико-механические и химические свойства обрабатываемого материала, точность заготовки. Точность станка в значительной мере определяет точность размеров, формы, пространственные отклонения поверхностей. При круглом наружном шлифовании с увеличением точности станка на один класс некруглость, овальность в 1,6 раза. С изменением характеристики инструмента и СОТС при шлифовании конструкционных сталей параметры точности изменяются на 40 – 60%. Фирма «Fritz Schtuder» сообщает, что при тонком шлифовании может быть получена точность обработки 0,5 – 0,15 мкм. Аналогичные результаты получены в ЭНИМС и Центральной лаборатории вооружения Франции [1].

Аналитические основы прогнозирования точности при механической обработке рассмотрены в работах В.С. Корсакова, А.Н. Гаврилова, Л.К. Сизенова а для процессов обработки деталей абразивными инструментами – в работах Л.А. Глейзера, П.И. Ящерицына, Г.Б.Лурье и других исследователей. Вследствие отсутствия динамических моделей съема металла и износа инструмента авторы базируются на экспериментальных зависимостях. Изменение исходных погрешностей в течение цикла обработки вычисляется Л.А.Глейзером по уравнению:

$$\Delta\alpha = \Delta_0 \left(1 - \frac{j}{k+j}\right)^m,$$

где $\Delta\alpha$ и Δ_0 – исходная и остаточная погрешности; m – число проходов; j – жесткость технологической системы; k – коэффициент, зависящий от режима и условий шлифования, определяется экспериментально.

В работе В.А. Кудинова и Н.Т. Тодорова выполнен анализ развития колебаний, волнистости круга и изделия при врезном шлифовании. В работах Г.Б. Лурье и В.В. Гичана рассмотрена связь скорости изменения погрешности с поперечной подачей. Полученные зависимости носят эмпирический характер и являются приближенными.

Влияние технологических факторов на шероховатость поверхности рассмотрено в работах А.В. Королева, А.А. Маталина В.И. Муцянюк и В.И. Островского, А.Н. Резникова, П.И. Ящерицына и других исследователей [1]. Наиболее значительное влияние на параметры шероховатости оказывают точность станка, жесткость технологической системы, режим резания, характеристика инструмента, СОТС. Наиболее широко для операций чистового и тонкого шлифования применяются круги на керамической и органической связках из таких абразивных материалов как электрокорунд белый, карбид кремния зеленый, а при обработке высокопрочных сталей и сплавов из сверхтвердых материалов таких как: эльбор, синтетические и естественные алмазы [1]. Шероховатость поверхности уменьшается с увеличением жесткости технологической системы, уменьшением зернистости инструмента, уменьшением одной из подач [1]. С повышением скорости круга она снижается для обычных и увеличивается для мелкозернистых кругов [1]. Изменение характера влияния скорости на шероховатость с уменьшением зернистости может быть объяснено только изменениями в динамике процесса шлифования.

Влияние технологических факторов на физико-механическое состояние поверхностных слоев шлифованных деталей изучено Д.Г. Евсеевым, С.Н. Корчаком, Б.И. Костецким, А.А. Маталиным, А.А. Михайловым, С.Г. Редько, А.В. Подзеем, А.В. Якимовым и другими исследователями [1]. При анализе тепловых ограничений С.Н. Корчаком и А.А. Кошиным [2], кроме других технологических факторов, учитывается состояние рабочей поверхности инструмента. В расчетные уравнения входят такие параметры, как расстояние между абразивными зернами, размеры площадок износа на их вершинах. Для эффективного использования предложенных моделей необходимо дополнить их зависимостями, связывающими параметры состояния рабочей поверхности инструмента с условиями и длительностью его эксплуатации.

Выводы. Проведенный анализ существующих расчетных схем и математических моделей операции шлифования показал, что в настоящее время сформировался новый подход к оптимизации и управлению процессом шлифования, основанный на статистико-вероятностном представлении параметров рельефа круга и кинематико-вероятностном описании закономерностей съема металла при шлифовании. По сравнению с традиционным подходом, рассматривающим процесс удаления припуска и участие зерен в резании с геометрических позиций, такой подход обладает более широкими возможностями, позволяет в максимальной степени учесть специфику строения круга и приблизить расчетную схему шлифования к реальной.

Однако использование существующих моделей и алгоритмов для расчета параметров циклов программного управления операциями абразивного, алмазного и комбинированного шлифования в условиях автоматизированного производства затруднено, так как каждый из этих процессов имеет независимое друг от друга математическое описание.

Несмотря на многообразие математических моделей на сегодняшний день не

существует методики позволяющей с единых позиций проектировать циклы управления процессами шлифования, которые бы обеспечивали стабильность требуемых параметров точности и других показателей качества для наиболее распространенных схем абразивного, алмазного и комбинированного шлифования в связи с отсутствием комплексной универсальной математической модели процесса.

При использовании замкнутых САУ современное оборудование в ряде случаев позволяет изготовить детали с допуском на размер, не превышающим доли микрона, на операциях круглого, плоского и торцевого наружного шлифования, которые являются наиболее широко распространенными методами окончательной обработки. Однако стабильное обеспечение требуемых параметров качества шлифованных поверхностей в настоящее время представляет определенные трудности.

Существующие системы управления операциями шлифования не обеспечивают высокопроизводительную обработку изделий в условиях автоматизированного производства с гарантированным качеством при интенсивном съеме материала, так как не учитывают влияние основных возмущений на процесс шлифования. Существующие модели не учитывают стохастическую природу процесса, что в большинстве случаев приводит к не удовлетворительному качеству обработки вследствие отрицательного влияния на процесс возмущающих факторов.

Из существующих циклов управления операцией наиболее эффективными являются граничные алгоритмы, которые предполагают наличие расчетных параметров, учитывающих изменение состояния элементов технологической системы в процессе обработки, например, изменения параметров шлифовального круга за период его стойкости. Применение граничных алгоритмов предполагает приближение к границам допустимой области управления, что требует усовершенствования соответствующих систем автоматического управления технологическим процессом.

Список литературы

1. Новоселов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке / Ю.К. Новоселов // Севастополь: изд-во СевНТУ, 2012. – 304с.
2. Братан С. М. Технологические основы обеспечения качества и повышения стабильности высокопроизводительного чистового и тонкого шлифования. - Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.08 – Технология машиностроения, –Одесский национальный политехнический университет, Одесса, 2006. – 321с.
- 3.Энциклопедия докторов наук – машиностроителей России:научно- популярная монография/под. ред. С.А. Зайдеса.– Иркутск: Из-дво ИРНИТУ, 2020,– 452 с., ил
4. Bratan S. Improvement of quality of details at round grinding in the conditions of a floating work-shop / S.Bratan, E. Vladetskaya, A. Kharchenko // MATEC Web of Conferences 129 (2017), Article Number 01083.
5. Bratan S. Identification of removal parameters at combined grinding of conductive ceramic materials / S. Bratan, S. Roshchupkin, A. Kolesov, B. Bogutsky // MATEC Web of Conferences 129 (2017), Article Num-ber 01079.

УДК 621.9

РАЗРАБОТКА КОМПОНОВКИ РЕЗЬБОНАРЕЗНОГО СТАНКА НА ОСНОВЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ГОЛОВКИ РЕВОЛЬВЕРНОГО ТИПА И МЕХАНИЗМА ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ СТРУКТУР (МПС) С ПОМОЩЬЮ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

**С.М. Братан¹,
И.В. Тищенко¹,
А.О. Харченко¹,
А.С. Часовитина¹**

¹*ФГАОУ ВО Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия*

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрен процесс разработки компоновки резьбонарезного станка с комбинированным механизмом параллельных структур (МПС) с помощью морфологического анализа. В начале рассмотрены существующие компоновки резьбонарезного оборудования. Показано, что применение резьбонарезного манипулятора в условиях гибкого автоматизированного производства не является эффективным. Рассмотрены существующие компоновки резьбонарезных станков с МПС. Далее выполнена классификация станков с МПС по функциональному и конструктивному признакам. С помощью метода морфологического анализа разработана компоновка резьбонарезного станка с комбинированным МПС и многопозиционным инструментальным модулем. После чего выполнена конструктивная проработка компоновки. Представлен общий вид применяемой резьбонарезной головки револьверного типа, структурная схема МПС с шестью степенями свободы и общий вид компоновки.

Ключевые слова: резьбообработка, механизмы параллельных структур (МПС), вертикальный резьбонарезной станок с комбинированными МПС, морфологический анализ.

TAPPING MACHINE LAYOUT BASED ON A TURRET AND COMBINED PARALLEL STRUCTURES MECHANISM DESIGN USING THE MORPHOLOGICAL APPROACH

**S.M. Bratan¹,
I.V. Tishchenko¹,
A.O. Kharchenko¹,
A. S. Chasovitina¹**

¹*Sevastopol State University, Sevastopol, Russia*

ABSTRACT

The paper reports the tapping machine with combined parallel structures mechanism (MPS) design process using the morphological approach. At first, existing tapping machine layouts were investigated. It was shown that tapping manipulator machines are not suitable for flexible automated manufacturing. Next, existing tapping machine layouts with parallel kinematics were investigated. The parallel kinematics machine tools classification based on functional and design aspects was

completed. The tapping machine layout with combined MPS and multiposition tool system was developed using morphological approach. The layout was further explored. The tapping turret, structural scheme of 6 degrees of freedom MPS, and layout general view were presented. It is concluded that the morphological approach is an effective method for progressive tapping machine layouts design. The layout's parallel structures mechanism allows multi-axis machining. At the same time the use of the tapping turret results in significant increase of tapping productivity due to toll change time reduction.

Keywords: threading, parallel structure mechanisms (MPS), vertical tapping machine tool with combined MPS, morphological analysis.

Современное производство характеризуется тенденцией к постоянному росту производительности и повышению требований к качеству продукции.

Имеющееся и разрабатываемое оборудование на сегодняшний день удовлетворяет потребности производства, однако для скачка на качественно новый технологический уровень необходимо уже сейчас активно работать над реализацией нового прогрессивного металлообрабатывающего оборудования.

Одним из возможных решений активное внедрение механизмов параллельных структур (МПС) в конструкции металлорежущих станков. Особо стоит отметить недостаточную освещенность проблемы разработки резбонарезного оборудования на основе МПС.

В рамках данной проблемы отдельно следует рассмотреть необходимость сокращения времени разработки на всех стадиях за счёт быстрого получения наиболее рациональных решений.

Цель исследования: разработать рациональную компоновку резбонарезного станка с комбинированным МПС

Задачи исследования:

- проанализировать существующие компоновки резбонарезного оборудования;
- выполнить классификацию станков с МПС;
- выполнить морфологический синтез компоновки резбонарезного станка;
- выполнить укрупнённую конструктивную проработку разработанной компоновки.

Объект исследования: резбонарезной станок.

Предмет исследования: процесс синтеза рациональной компоновки резбонарезного станка с МПС.

На текущий момент операцию резбонарезания стремятся перенести отдельные резбонарезные станки и тем самым снизить стоимость резбообработки. Чаще всего в качестве основного оборудования используются резбонарезные манипуляторы различных видов. Основные производители: Volumec (Италия), AXIOS (Индия), Roscamat (Испания) FlexMachineTools (США), Soartec (Китай), YL-Tool (Тайвань), Palmgren (США), CMA Italia (Италия). Типовая конструкция резбонарезного манипулятора представлена на рисунке 1.

Конструкция манипулятора включает в себя несколько штанг и резбонарезной модуль. Штанги образуют механизм, обеспечивающий до шести степеней свободы резбонарезного модуля.

Резбонарезной модуль состоит из электро-, гидро- или пневмопривода, сменных редукторов для изменения частоты вращения инструмента и сменных патронов для метчиков.

Принцип работы достаточно прост. Рабочий подводит резбонарезной модуль с метчиком к отверстию, направляет инструмент и включает вращение. После нарезания первого витка подача осуществляется самозатягиванием. После нарезания резьбы рабочий переключает

манипулятор в режим реверса, выводит метчик и повторяет всю последовательность действий для следующих отверстий.



Рисунок 1. Резьбонарезной манипулятор марки FlexArm компании FlexMachineTools [1]

В зависимости от модели резьбонарезной манипулятор способен выполнять нарезание резьб в среднем в диапазоне М3 – М20.

Несмотря на очевидные достоинства резьбонарезного манипулятора, а именно удобство в применении, эргономичность конструкции, существует ряд недостатков данного оборудования. Главными недостатками являются низкий уровень надёжности и автоматизации.

Учитывая указанные выше преимущества и недостатки, очевидно, что оптимальной сферой применения резьбонарезного манипулятора является единичное и мелкосерийное производство. В серийном производстве использование оборудования такой конструкции будет нерациональным из-за отсутствия автоматизации. Значительно затруднено также и применение резьбонарезного манипулятора в условиях гибкого автоматизированного производства.

Наличие металлорежущего станка с программным управлением, который при этом обладает высокой надёжностью, повторяемостью и точностью перемещений исполнительного органа является существенным для гибкого автоматизированного производства. Реализовать данную концепцию можно путём использования в приводах подачи резьбонарезного станка механизмов параллельных структур.

Механизм параллельных структур (МПС) – механизм, состоящий из подвижного исполнительного органа (ИО) и неподвижного основания, которые соединены минимум двумя независимыми кинематическими цепями [2].

В условиях современного рынка резьбонарезные станки с последовательной кинематикой распространены больше. Несмотря на это в России и за рубежом научные коллективы ведут работы по развитию станков на параллельной кинематике.

Характерным представителем прогрессивного оборудования является резьбонарезной станок фирмы SigmaTau. Общий вид представлен на рисунке 2.

Станок состоит из инструментального модуля, который с помощью сферических шарниров и штанг изменяемой длины, соединён с подвижными каретками. Каретки могут двигаться поступательно вдоль неподвижных направляющих.



Рисунок 2. Резьбонарезной станок с МПС типа «Триаглайд» компании SigmaTau [3]

В Севастопольском государственном университете (СевГУ) на основе структурно-компоновочного синтеза разработан вариант резьбонарезного станка с комбинированным МПС, особенностью которого является одновременное использование подвижных опорных шарниров и звеньев изменяемой длины (МПС типа «Дельта-глайд-под»). Компоновка станка представлена на рисунке 3.

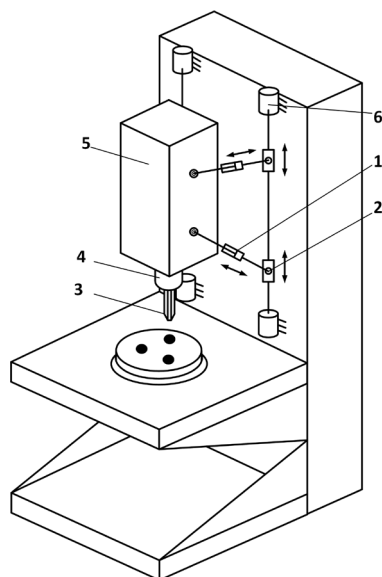


Рисунок 3. Общий вид компоновки вертикального резьбонарезного станка с комбинированными МПС

Путём изменения длины штанг 1 и координат шарниров 2 метчик может занимать различные пространственные положения.

Преимущества применения МПС в компоновках резьбонарезных станков [5]:

- обеспечение высокой точности перемещения ИО;
- существенное повышение надёжности механизма позиционирования;
- снижение массы конструкции и одновременно повышение жёсткости;
- обеспечение вспомогательных ходов инструмента на высоких скоростях;
- модульность и масштабируемость конструкции.

Недостатки МПС:

- сложность управления;

– наличие пространственных положений, где возможна потеря управляемости.

Одной из основных проблем разработки рациональной компоновки заключается в том, чтобы среди большого множества различных вариантов реализации отыскать наиболее оптимальный. Зачастую оптимальный вариант, может быть, не замечен или упущен из-за различных субъективных причин. Одним из решений данной проблемы является использование методов морфологического анализа, которые призваны выделить объективное множество решений и в явном виде найти среди них лучшее.

Эффективным методом формирования объективного множества решений является метод морфологической матрицы также известный как метод матрицы Цвикки [6], [7]. Суть метода заключается в выделении значимых параметров будущей компоновки, а также вариантов их исполнения. После чего параметры вместе с вариантами исполнения сводятся в морфологическую матрицу. Решение формулируется в виде сочетаний исполнений различных параметров матрицы. Количество решений для конкретной компоновки зависит напрямую от выбранного количества параметров и степени детализации исполнений каждого параметра. При этом стремление как можно больше детализировать аспекты компоновки рискует привести к значительному размеру морфологической матрицы и соответствующему возрастанию временных затрат на анализ решений.

Для определения параметров на начальном этапе была выполнена классификация станков с МПС. Различные подходы к классификации описаны в работах [2], [5], [8]. В рамках данного исследования станки с МПС были классифицированы по функциональным и конструктивным признакам. Классификационные схемы для обеих групп представлены на рисунках 4 и 5.

Далее на основе классификации были выделены основные параметры компоновки. Параметры сведены в морфологическую матрицу (таблица 1).

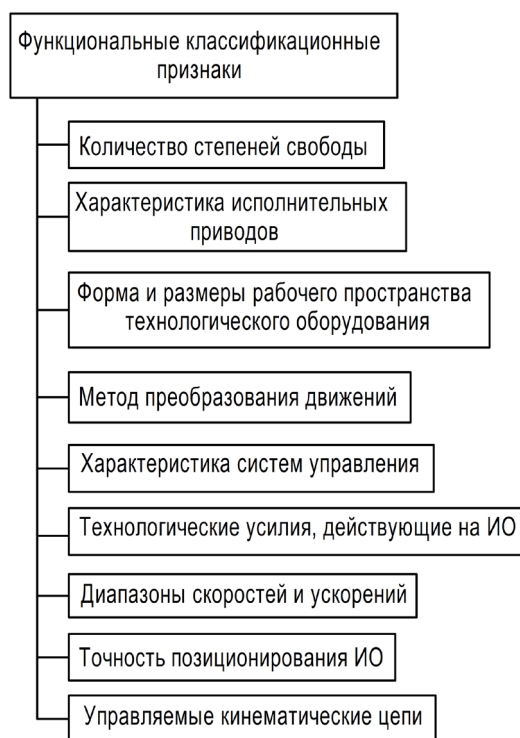


Рисунок 4. Классификация станков с МПС по функциональным признакам

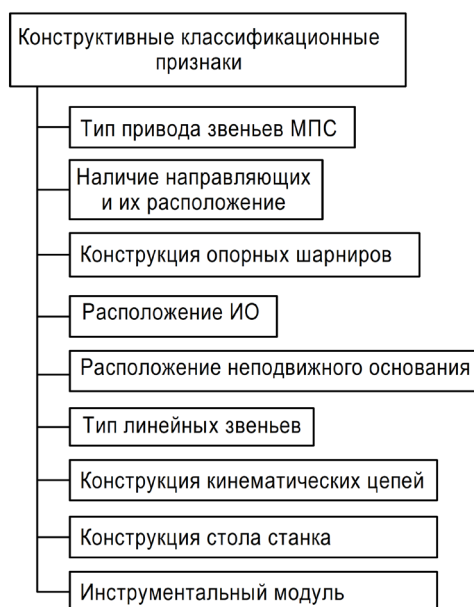


Рисунок 5. Классификация станков с МПС по конструктивным признакам

Таблица 1. Морфологическая матрица компоновки резьбонарезного станка с МПС

№	Параметр	Исполнение параметра
1	Количество степеней свободы – P_1	Шесть – P_{11}
2	Метод преобразования движения – P_2	Изменение координат опорных шарниров – P_{21} ; изменение длины штанг – P_{22} ; вращение шарнира на неподвижном основании – P_{23} ; изменение угла между элементами кинематической цепи – P_{24} ; комбинированный метод – P_{25} .
3	Расположение ИО – P_3	На подвижном элементе – P_{31} .
4	Тип привода звеньев – P_4	Гидравлический – P_{42} ; электромеханический – P_{43} .
5	Расположение неподвижного основания – P_5	Основание установлено на полу – P_{51} .
6	Тип линейных звеньев – P_6	Постоянной длины – P_{61} ; переменной длины – P_{62} .
7	Инструментальный модуль – P_7	Однопозиционный – P_{71} ; многопозиционный – P_{72} .
8	Привод главного движения резания и движения подачи – P_8	Пневматический – P_{81} ; гидравлический – P_{82} ; электромеханический – P_{83} .
9	Конструкция стола станка – P_9	Неподвижный стол – P_{91} .

Из всего множества решений морфологической матрицы методом мозгового штурма были выбраны следующие варианты структуры компоновки:

$$\begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} P_{11} & P_{21} & P_{31} & P_{43} & P_{51} & P_{61} & P_{71} & P_{82} & P_{91} \\ P_{11} & P_{25} & P_{31} & P_{43} & P_{51} & P_{62} & P_{72} & P_{81} & P_{91} \\ P_{11} & P_{23} & P_{31} & P_{42} & P_{51} & P_{62} & P_{71} & P_{83} & P_{91} \\ P_{11} & P_{24} & P_{31} & P_{42} & P_{51} & P_{61} & P_{72} & P_{82} & P_{91} \end{pmatrix}$$

$$(X_2) \rightarrow (P_{11} \ P_{25} \ P_{31} \ P_{43} \ P_{51} \ P_{62} \ P_{72} \ P_{81} \ P_{91})$$

Компоновка представляет собой резьбонарезной станок с шестью степенями свободы ИО, имеющий комбинированный метод преобразования движения, неподвижное основание, установленное на полу, линейные звенья переменной длины с электромеханическим приводом, многопозиционный инструментальный модуль, установленный на подвижном элементе с пневматическим приводом главного движения резания и движения подачи и неподвижный стол.

Общий вид компоновки представлен на рисунке 4.

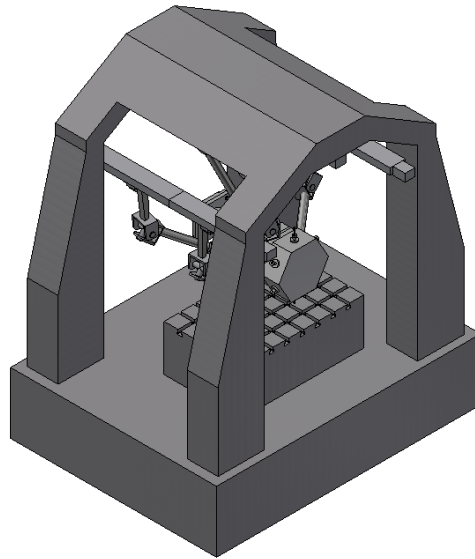


Рисунок 4. Общий вид компоновки резьбонарезного станка с комбинированным МПС с шестью степенями свободы

В качестве инструментального модуля предложено использовать многопозиционную резьбонарезную головку, разработанную в СевГУ [9]. Общий вид резьбонарезной головки представлен на рисунке 5.

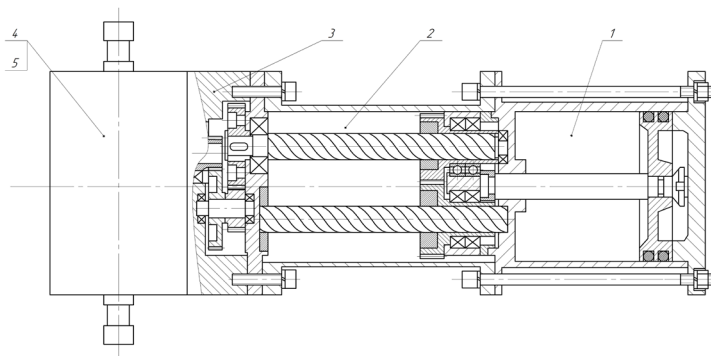


Рисунок 5. Общий вид резьбонарезной головки

Резьбонарезная головка состоит из силового цилиндра 1, механизма преобразования поступательного движения во вращательное 2, мультипликатора 3, револьверной головки 4 и пульта управления 5. Для запуска вращения инструмента в поршневую полость силового цилиндра подаётся воздух, при перемещении поршня, на котором установлены с возможностью вращения зубчатые колёса, одно из них перемещается по винтовой линии неподвижного ходового винта, вращая соседнее колесо и второй ходовой винт, который в свою очередь передаёт вращение на приводные зубчатые колёса.

Для разрабатываемой компоновки предложена структура МПС, основанная на структуре МПС, описанной в статье К. Ханта [10]. Для увеличения рабочей области ИО опорные вращательные шарниры были установлены на подвижные каретки, которые движутся по направляющим. Также изменено пространственное положение кинематических цепей. Структурная схема модернизированного МПС представлена на рисунке 6.

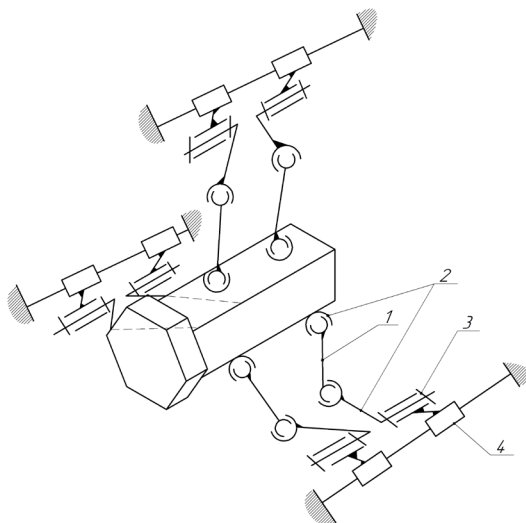


Рисунок 6. Структурная схема модернизированного МПС

МПС состоит из штанг постоянной длины 1 на концах которых закреплены карданные шарниры 2. С одной стороны штанги присоединены к ИО, с другой через рычаги к вращательным шарнирам 3. Шарниры 3 установлены на каретках 4.

Количество степеней свободы ИО определяется по формуле Сомова-Малышева [5]

$$w = 6n - 5p_5 - 4p_4 - 3p_3 - 2p_2 - p_1 \quad (1)$$

где n – число подвижных звеньев цепи; p_5 – число кинематических пар пятого класса; p_4 – число кинематических пар четвертого класса; p_3 – число кинематических пар третьего класса; p_2 – число кинематических пар второго класса; p_1 – число кинематических пар первого класса;

$$w = 6n - 5p_5 - 4p_4 = 6 \times 19 - 5 \times 12 - 4 \times 12 = 6$$

Таким образом разработанный МПС действительно имеет шесть степеней свободы

В заключение можно сделать вывод о том, что метод морфологического анализа является эффективным инструментом для разработки прогрессивных компоновок резьбонарезного оборудования.

Используемый в компоновке резьбонарезного станка механизм МПС обеспечивает возможность многокоординатной обработки, а резьбонарезная головка револьверного типа существенно повышает производительность резьбонарезной операции за счёт снижения времени на смену инструмента.

Список литературы

1. Volumec: Pneumatic Tapping Machines. – Режим доступа: <https://www.volumec.it/en/pneumatic-tapping-machines/>. – Дата обращения 04.11.2022. – Загл. с экрана.
2. Merlett, J.P. Parallel Robots / J.P. Merlett. – Dordrecht: Springer, 2006. – 394 с.
3. Тищенко, И.В. Компонировка и кинематика на основе механизмов параллельной структуры (МПС) резьбонарезных станков для мелкоразмерных отверстий / И.В. Тищенко, А.О. Харченко // Современные технологии: проблемы и перспективы. Сборник статей всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых ученых. – Севастополь: Изд-во СевГУ, 2022. – С. 36-49.
4. Харченко, А.О. Механизмы параллельных структур (МПС) в гибридных компоновках резьбонарезного оборудования / А.О. Харченко, А.А. Харченко, А.С. Часовитина // Вестник современных технологий. – Севастополь: Изд-во СевГУ, 2021. – №2(22). – С. 33-38
5. Кузнецов, Ю.Н. Компонировка станков с механизмами параллельной структуры: Монография / Ю.Н. Кузнецов, Д.А. Дмитриев, Г.Е. Диневич. – Херсон: ЧП Вышемирский. – 2010. – 471 с.
6. Харченко, А.О. Анализ и синтез структур современных многооперационных станков: метод. указания / Сост. А.О. Харченко, С.М. Братан, Е.А. Владецкая, С.И. Рощупкин. – Севастополь: СевГУ, 2018. – 121 с.
7. Zwicky, F. New methods of thought and procedure: Contributions to the symposium on methodologies / F. Zwicky, A.G. Wilson. – New York: Springer, 1967. – 339 с.
8. Kong, X. Type Synthesis of Parallel Mechanisms / X. Kong, C. Gosselin. – Heidelberg: Springer Berlin, 2007. – 276 с
9. А.с. 1049209 SU Револьверная головка резьбонарезного станка / Ф.Н. Канареев, А.О. Харченко и др. // Бюл. Открытия. Изобретения. – 1983. – №39
10. Hunt, K.H. Structural kinematics of in-parallel-actuated robot-arms / K.H. Hunt // Journal of Mechanisms, Transmissions, and Automation in Design. – 1983. – Т. 105. – № 4. – С. 705-712.

УДК 621.01

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ НА ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

**Ю.А. Фисоченко¹,
А.Г. Колесов¹**

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Россия

АННОТАЦИЯ

Рассматриваются способы повышения качества поверхности при фрезеровании алюминия и его сплавов. Один из способов повышения качества обработки является наложение электрической цепи, с различными смазочно-охлаждающими технологическими средами. Предложены способы обеспечения требуемого качества поверхности, получаемой в процессе обработки и снижения интенсивности нежелательных динамических или тепловых

воздействий на технологическую систему и процессы формообразования в современных условиях обрабатывающей промышленности.

Другой рассмотренный способ — это повышения качества обработки деталей из алюминия и его сплавов за счет выбора рациональной геометрии фрезы с оптимизацией режимов резания, которые позволяют повысить производительность и улучшить качество обработанной поверхности.

Ключевые слова: алюминий, фрезерование, шероховатость, обработка, параметры качества, СОТС, режимы резания, геометрия.

IMPROVING THE QUALITY OF MACHINING ALUMINUM ALLOY PARTS ON CNC MILLING MACHINES

***Yu.A. Fisochenko¹,
A.G. Kolesov¹***

¹Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

ABSTRACT

The methods of improving the surface quality during milling of aluminum and its alloys are considered. One of the ways to improve the quality of processing is the imposition of an electrical circuit, with various lubricating and cooling process media. The methods of ensuring the required quality of the surface obtained during processing and reducing the intensity of undesirable dynamic or thermal effects on the technological system and shaping processes in modern conditions of the manufacturing industry are proposed.

Another method considered is to improve the quality of processing parts made of aluminum and its alloys by choosing a rational geometry of the milling cutter with optimization of cutting modes, which allow to increase productivity and improve the quality of the treated surface.

Keywords: aluminum, milling, roughness, processing, quality parameters, cutting fluids, cutting modes, geometry.

На сегодняшний день алюминий и его сплавы активно применяются в различных отраслях промышленности, например, в таких как электроника, авиастроение и строительство. Основное преимущество алюминиевых сплавов — это незначительный вес, а также высокая электро- и теплопроводность. Помимо этого, к основным достоинствам следует отнести высокую коррозионную стойкость, прочность и легкообрабатываемость.

На обработку резанием алюминиевых сплавов влияет уровень механических свойств и химический состав. В связи с этим, в некоторые алюминиевые сплавы добавляют литий, чтобы снизить их обрабатываемость, именно по этой причине такие сплавы по механическим характеристикам превосходят сплав марки АМг6. Для алюминиевых–литиевых сплавов отсутствуют рекомендации по выбору режимов резания, именно поэтому данная тема является актуальной.

При обработке алюминия на фрезерном станке с ЧПУ существует возможность более качественной обработки заготовок, в том числе и со сложной геометрией формы. Значительное влияние на шероховатость поверхности оказывают технические характеристики оборудования: допустимый крутящий момент на шпинделе, мощность, жесткость.

Одним из способов повышения качества обработки алюминия и его сплавов является наложение электрической цепи, с различными смазочно-охлаждающими технологическими средами.

В данный момент времени рассматривается применение смешанного способа формирования поверхности (анодно-механического в совокупности с High Speed Machining). Этот способ довольно перспективен так как с его помощью возможно получение более качественных поверхностей деталей и улучшение производительности фрезы.

Наиболее эффективными при смешанном способе формирования поверхностей являются схемы резания (при чистовых и финишных операциях). Данные схемы включают в себя последовательность действий механического компонента с последующим действием электрохимических компонентов.

Фрезерование представляет собой сочетание электроконтактного взаимодействия заготовки и фрезы, а также гальванического процесса. С помощью движения инструмента можно не только подать ток, убрать расплавленные и размягченные металлические сплавы, но и сформировать прерывистые контакты для создания дуговых разрядов. Данная обработка может осуществляться в жидкой или воздушной среде и благодаря увеличению напряжения и мощности источника питания производительность обработки практически линейно возрастает.

Сейчас технология смешанного способа формирования поверхности еще недостаточно распространена, из-за этого пока нет рекомендаций по эффективному использованию совмещения высокоскоростных операций механической обработки и подачи электрического тока в зону резания. Однако, в будущем станет возможно более широкое применение технологии для фрезерования алюминия и его сплавов.

В ходе проведения экспериментов по применению смешанного способа формирования поверхности на пластинах из алюминия и его сплавов при различных режимах обработки было выявлено, что параметры качества поверхности могут сильно различаться не только из-за изменения режимов резания, но за счет влияния постоянного электрического поля под действием биполярных условий и СОТС.

Для проверки данного способа были выбраны три разных вида СОТС: NaCl , Na_2CO_3 (с концентрацией 5% на 1 л) и Cu_2SO_4 . Скорость резания была 42 м/мин, а в качестве инструмента была использована трехзубая концевая фреза с диаметром 12 мм из Т5К10. Подача на зуб составляла 25 мм/мин, а глубина резания выбрана 0,5 мм. Полученные результаты R_a можно увидеть на рисунках 1, 2 и 3.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод что наименьшая шероховатость была выявлена при использовании смешанного способа формирования поверхности с применением СОТС Na_2CO_3 .

Используя этот метод можно получить благоприятные условия для возникновения наростов на передней поверхности фрезы. Это увеличивает область соприкосновения контакта из-за чего улучшается отвод тепла и проводимость тока между фрезой и заготовкой, но снизится точность обработки. Лучшим вариантом в данном случае будет образование небольшого нароста чтобы создать оптимальные условия для фрезерования. Помимо этого, в данный период времени проводятся исследования фрезерования с использованием двойного рабочего хода.

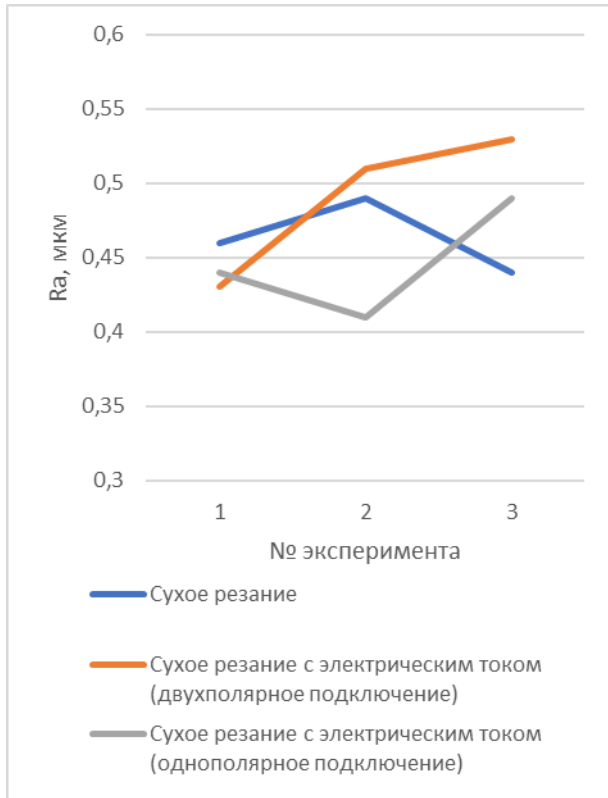


Рисунок 1. Шероховатость поверхностей после фрезерования сухим резанием

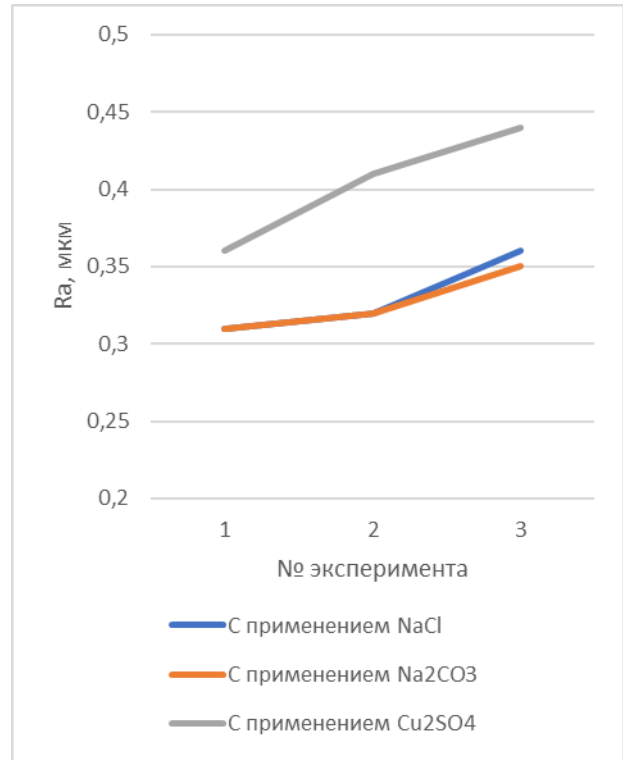


Рисунок 2. Шероховатость поверхностей после фрезерования с применением СОТС

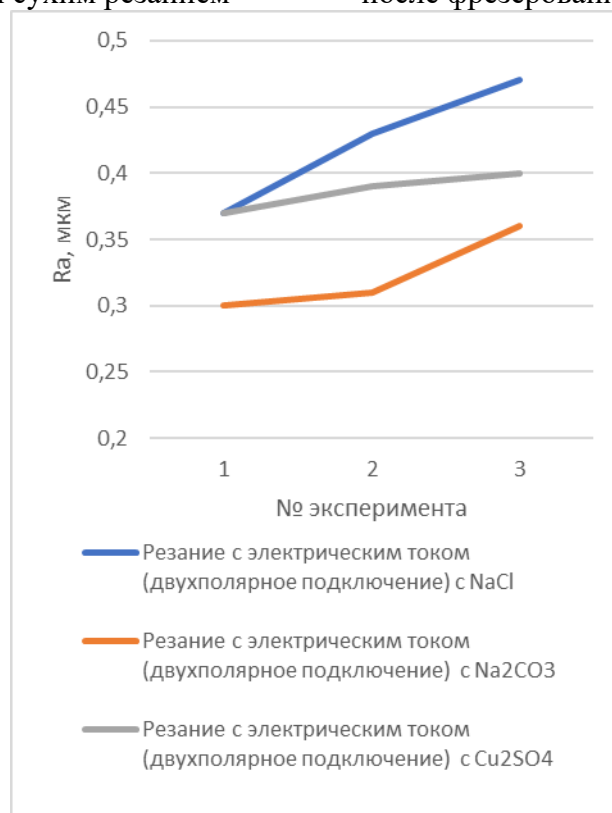


Рисунок 3. Шероховатость поверхностей после фрезерования с применением смешанного способа формирования поверхности

Асимметричные концевые фрезы теперь используются для чистовой обработки, чтобы свести к минимуму влияние вибрации и получить хорошее качество поверхности. Геометрия закругленной канавки фрезы значительно улучшает сход стружки, а трохойдальное фрезерование улучшает качество поверхности за счет выполнения процесса резания с меньшим радиальным усилием, что снижает вибрацию и высвобождение инструмента из-за увеличения глубины врезания, уменьшения тепловыделения, и улучшения отвода стружки. Этот метод считается наиболее удобным и эффективным при работе на станках с ЧПУ.

Подводя итоги, можно сказать, что применение смешанного способа формирования поверхности может повысить качество обработки поверхностей алюминия и его сплавов оптимизируя технологический процесс.

Другим способом повышения качества обработки деталей из алюминия его сплавов является рациональный выбор геометрии фрезы с оптимизацией режимов резания.

Наиболее важным параметром при выборе режима обработки и геометрии фрезы для алюминия является качество поверхности, а не стойкость. Поэтому длительность обработки для алюминия и его сплавов не играет существенного значения, так как наибольшее значение имеет рациональный выбор геометрии фрезы с оптимизацией режимов резания.

При обработке алюминия и его сплавов можно достичь хорошего качества поверхности детали используя низкие силы резания и высокие скорости фрезерования, которые обеспечивали бы удаление большого количества материала в единицу времени. Используя фрезу с хорошей стойкостью, можно добиться более высокой скорости обработки.

Если выполнять рекомендации по выбору геометрии фрезы, то можно обрабатывать детали используя низкие скорости обработки. Однако, в таком случае на лезвии фрезы будет появляться нарост, который снижает точность обработки поверхности детали. Для деталей из алюминия необходимо использовать скорость обработки не ниже 100 м/мин.

Во время обработки детали износ фрезы проявляется в виде усиления затупления лезвия, но так как не появляются сколы на лезвии, то этот процесс можно контролировать.

В ходе исследований было установлено, что лучшими геометрическими критериями инструмента для чистовой операции являются: $\gamma = 15^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, $\omega = 30^\circ$. Для черновой операции: $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 7^\circ$, $\omega = 0^\circ$. Если на лезвии фрезы появился нарост, то передний угол необходимо увеличить.

В случае увеличения угла с $\omega = 0^\circ$ на $\omega = 30^\circ$ стружка изменяет свой вид с шершавой на более ровную. В результате при использовании фрезы с углом $\omega = 30^\circ$ можно получить шероховатость $Ra = 0,64 - 0,32$ мкм, а с углом $\omega = 0^\circ$ только $Ra = 3,2 - 2,5$ мкм.

Для улучшения качества обработки поверхностей деталей, при изготовлении фрезы, необходимо производить с большими промежутками между зубьями и увеличенной выемкой, что способствует большему выходу стружки.

Помимо этого, при обработке детали нужно использовать фрезерование, при котором направление движения заготовки совпадает с направлением вектора скорости резания. При таком способе производства вход инструмента в резание более положительный. В этом случае мы избегаем повышенных температур в месте резания и уменьшаем склонность алюминия к повышению прочности. Повышенная толщина стружки в данном случае будет преимуществом.

При фрезеровании стружка прилипает к инструменту в момент, когда инструмент врезается, и в дальнейшем мешая обработке. При попутном фрезеровании мы избегаем таких последствий.

СОТС используются при высоких скоростях резания и продолжительном расстоянии реза. При других ситуациях не используются.

Список литературы

1. Грубый, С.В. Повышение эффективности технологии фрезерной обработки деталей из перспективных алюминиевых сплавов на современном оборудовании с ЧПУ / С.В. Грубый, А.М. Зайцев. – Наука и образование. ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Н.Э. Баумана». № ФС 77 – 48211. 12/2013.
2. Степанов, А.В. Высокоскоростное фрезерование в современном производстве. Машиностроение и смежные отрасли / А.В. Степанов. - CAD/CAM/CAE Observer. №4 (13) 2003. 1 – 8 с.
3. Подураев, В.Н. Резание труднообрабатываемых материалов / В.Н. Подураев – М.: Высшая школа, 1974. – 588 с. 26
4. Мо Наинг У. Повышение эффективности лезвийной анодно-механической обработки наружных цилиндрических и резьбовых поверхностей деталей из силуминов: диссертация / Мо Наинг У. – М., 2014. – 156 с.
5. Куликов, М.Ю., Иноземцев В.Е., Нечаев Д.А., Мо Наинг У. Совершенствование способа чистовой анодно-механической обработки цветных металлов и их сплавов / М.Ю. Куликов, В.Е. Иноземцев, Мо Наинг У. Журнал «Наукоемкие технологии в машиностроении» 2014/11. С. 19 – 22.
6. Иноземцев, В.Е. Исследование возможности повышения качества поверхности при фрезеровании алюминиевых сплавов / В.Е. Иноземцев, Д.Г. Евсеев // Статья в сборнике трудов конференции. – 2019 г. – С. 20-26.
7. Алюминиевые сплавы (свойства, обработка, применение) справочник. - М.: Металлургия. - 1979. - 678 с.: ил.
8. Ковалевский, А. В. Выбор рациональной геометрии режущей части фрезы для обработки жаропрочных сплавов на никелевой основе. - М.: СТИН, 2008. - В с.: ил.
9. Ковалевский, А. В. Выбор рациональных режимов фрезерования для обработки алюминиевых сплавов / А. В. Ковалевский // Статья в журнале. – 2008 г. – С. 64-66.

УДК 621.923.1

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ МИКРОШЛИФОВАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

*С.В. Корчевский¹,
Т.В. Стадник¹,
Е.А. Леонова¹*

¹ФГАОУ ВО Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

АННОТАЦИЯ

В данной статье приводится описание перспективных направлений развития микрошлифовальных инструментов для обработки высокоточных деталей микроэлектронных устройств. Характерной особенностью обработки подобного рода деталей заключается в том, что показатели их точности и качества поверхности весьма затруднительно достигаются за счет применения традиционных способов шлифовальной обработки. Рассмотрены теоретические

способы реализации процесса микрошлифовальной обработки и доводки деталей, основанные не только на механических, но и на энергетических принципах.

Ключевые слова: микрошлифование, микрошлифовальный инструмент, направления развития, температура в зоне резания, абразивный материал.

MICROGRINDING TOOLS DEVELOPMENT PERSPECTIVES DIRECTIONS

**S.V. Korchevsky¹,
T.V. Stadnik¹,
E.A. Leonova¹**

¹*Sevastopol State University, Sevastopol, Russia*

ABSTRACT

In this article microgrinding tools for high precision microelectronic devices machining development perspectives directions describing is given. Such kind of spare parts machining feature is that indexes of their precision and surface quality are completely being achieved via traditional grind machining methods applying. Theoretical methods of microgrinding and fine-tuning processes implementation based not only on mechanical, but also on energy principles are considered.

Keywords: microgrinding, microgrinding tool, development directions, temperature in cutting area, abrasive material.

Постановка проблемы. Современная эпоха развития машиностроительного производства характеризуется подходом к использованию традиционных типов инструментов, оснастки и иного вида вспомогательных средств при получении разнородной продукции. Данные средства являются проверенными временем, проявляют требуемый уровень надежности и удовлетворяют показателям качества и точности обработки деталей различных устройств.

Говоря о шлифовальной обработке, как способе достижения высокой точности и низкой шероховатости обрабатываемых деталей, традиционными инструментами для реализации данного процесса являются абразивные и алмазные шлифовальные круги, полировальные диски, головки, бруски, сегменты, ленты и шкурки. Применение каждого из указанных инструментов регламентируется возможностями технологического оборудования, зачастую сложностью обработки поверхностей, а также экономической составляющей оценки рентабельности производственного процесса [1-4].

Со стремительным развитием устройств и приборов в микроэлектронной отрасли нашего государства наступали и затруднения при попытке высокоточной обработки весьма малых по габаритным размерам деталей. Среди таких деталей можно отметить, например, датчики, маятники, светочувствительные элементы и др. Исходя из подобного перечня, становится более очевидным сложность их обработки, причем с соблюдением требуемых качеств и точностных показателей. Это малые прочность, жесткость, устойчивость, местами невозможность установить в приспособление станка. Не менее жесткие ограничения эти факторы накладывают и на применение микрошлифовального инструмента, который должен обладать возможностью съема весьма малых величин припусков, тем самым не нарушая начальные свойства заготовок [4].

Цель статьи – определить пути развития инструментов для микрошлифовальных операций.

Изложение основного материала. Из практических наблюдений, существенное влияние на протекание процесса шлифовальной, в частности, микрошлифовальной обработки, оказывает температура в зоне резания и собственные колебания частиц поверхностного слоя детали [5]. При малых размерах обрабатываемых заготовок или их поверхностей, одним из перспективных направлений развития инструмента можно считать уменьшение тепловыделения при обработке за счет снижения интенсивности трения частиц в зоне резания. В таком случае следует прибегнуть к применению нанодисперсных абразивных и алмазных частиц порядка $0,01 \dots 0,5$ мкм; при этом ожидаемо значительное снижение сил резания. Стоит также обозначить возможность обеспечения дискретного перемещения в системе координат при обработке по осям X, Y, Z порядка $0,5 \dots 1$ мкм, однако это, в большей степени зависит от степени точности технологического оборудования, нежели от инструмента.

Наиболее благоприятную почву для развития инструмента для микрошлифования создает требование к обработке плоских поверхностей, как прерывистых, так и непрерывных в пределах габаритных размеров детали. Здесь процесс мало чем отличается от процесса традиционного плоского шлифования периферией круга, либо его торцом. Главное различие состоит в величине снимаемого припуска и подачи, соизмеримыми с размерами рабочих частиц.

Самая неблагоприятная ситуация возникает при обработке отверстий и радиусных углублений размерами, соответственно, $d=3 \dots 7$ мм и $r=1,5 \dots 3,5$ мм с точностью не ниже IT 5 на указанные размеры и шероховатостью $R_a=0,1 \dots 0,05$ мкм (в перспективном направлении $R_a=0,025 \dots 0,015$ мкм). Однако мы все еще полагаем, что рабочая часть микрошлифовального инструмента представляет собой связку совместно с абразивными частицами. Попытки ухода от такой тенденции замечены в 90-х годах прошлого века, когда были произведены наработки инструментов для доводки отверстий и углублений без применения абразива. Подобную идею отражает схема конструкции инструмента на рисунке 1.

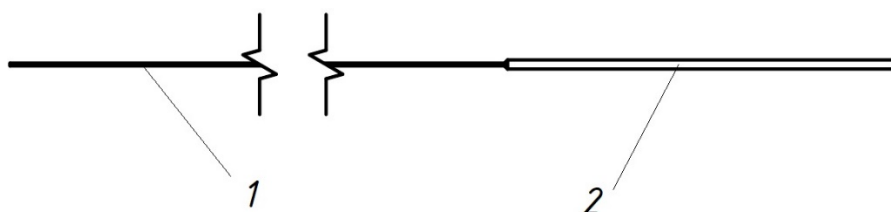


Рисунок 1. Схема конструкции микрошлифовального инструмента для обработки отверстий и углублений: 1 – крепежная часть; 2 – рабочая часть

Рабочая часть приведенной конструкции инструмента не содержит абразива, при этом выполнена из цветного сплава, такого как латунь. Из аналогичного материала выполнена и крепежная часть. Но возникает вопрос о том, как таким инструментом можно осуществлять процесс микрорезания, ведь явно выраженных режущих кромок он не имеет. Здесь имеет место быть две возможные ситуации.

Первая ситуация – сьем малых частиц материала за счет шероховатости поверхности рабочей части инструмента, где каждая вершина на профилограмме, теоретически, может служить режущей кромкой (рисунок 2).

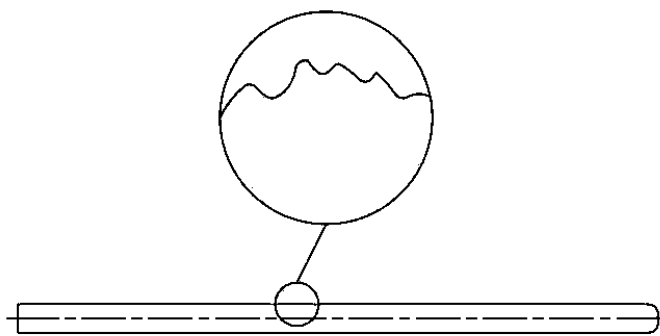


Рисунок 2. Иллюстрация поверхностного слоя рабочей части инструмента

Особенность указанного принципа состоит в том, что требуются точные расчеты вероятностей возникновения потенциальных кромок в пределах поверхностного слоя.

Вторая ситуация – применение одного из альтернативных способов обработки, а именно, пластичного микрошлифования. Гипотеза существования возможных физико-механических процессов при пластичной обработке описана в [6]. Речь в указанном источнике идет именно об обработке хрупких материалов, которые должны поддаваться хрупкому разрушению, однако в 1975 году удалось экспериментальным путём установить, что доминирующим является процесс протекания пластического деформирования поверхности заготовки при микрошлифовании [6]. Очевидно, что для проведения подобной процедуры необходима повышенная жесткость и прочность обрабатывающего инструмента. На применение ранее упомянутого проволочного инструмента это накладывает существенное ограничение, так как требуется его надежное крепление с нескольких сторон. Дополнив проволочный инструмент крепежной частью по другую сторону от рабочей части, можно, теоретически достичь приемлемого уровня жесткости инструмента и надежности самого процесса при силовом либо энергетическом воздействии на заготовку. Реализация подобного рода идеи представлена на рисунок 3.

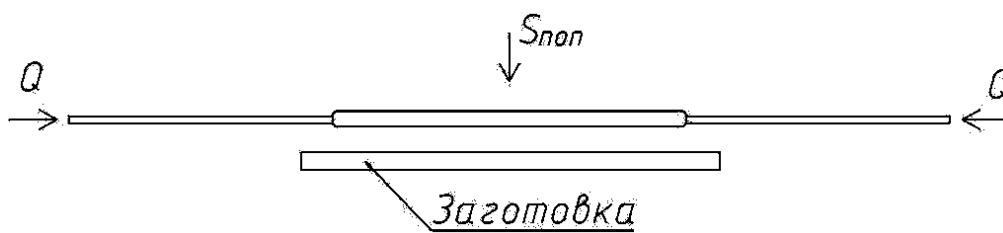


Рисунок 3. Теоретическая схема реализации процесса пластичного микрошлифования: Q – усилие зажима в оправке (патроне) на станке; S_{non} – величина поперечной подачи

Опираясь на схему выше, обработку следует производить за несколько проходов, т.е. с отводом инструмента от заготовки для обеспечения релаксации упругой силы, возникающей из-за динамических особенностей процесса шлифования согласно [7]. Поперечную подачу следует уменьшить максимально возможно для снижения вероятности поломки инструмента и возникновения непоправимых дефектов заготовки.

Следующим направлением развития микрошлифовального инструмента будем считать применение прогрессивных материалов. Особое место, в последнее время, уделено материалам

на полимерной основе, по механическим и технологическим свойствам ничем не уступающим металлическим сплавам. Высокой прочностью на сжатие-растяжение обладает пластиковый материал, пришедший на замену поликарбонату – тритан. Нашел он своё применение не только в бытовых изделиях, но и в медицинской отрасли. Естественно, если вернуться к принципам абразивно-алмазной обработки, можно провести синтез новых инструментов на упругой связке в сочетании с абразивными или алмазными порошками. В теории, это должно значительно увеличить надежность инструмента и процесса микрошлифовальной обработки, а также получить выигрыш у металлических инструментов за счет снижения брака выполняемых деталей и повышения их качества.

Применение инструментов и средств в области физико-технической и химической обработки также имеет место быть. Основным отличием таким способов от традиционных путей реализации механической обработки является отсутствие какого-либо процесса резания. Главная идея – удаление частиц материала с обрабатываемой поверхности физическим или химическим способами. Например, при электролитическом растворении материала (электролизе) инструментом будет выступать электрод (анод или катод). А при вибрационно-абразивной обработке инструментом будет служить стержень определенного размера, на который передается волновое воздействие высокой частоты.

У указанных выше способов есть существенный недостаток – вопрос обеспечения точности обработки. Если в традиционном представлении шлифовальной обработки точность определяется кинематическими показателями перемещения узлов станка, точностью выполнения конструктивных элементов инструмента, а также режимами резания, в случае физико-технической и химической обработки требуемая точность достигается режимами работы оборудования по генерации той или иной энергии, состоянием окружающей среды, химическими свойствами материалов.

Выводы. Исходя из всего сказанного, можно наблюдать тенденцию ухода от традиционных способов реализации шлифовальной обработки и приближение к наиболее труднореализуемым. Естественно, упомянутые способы, начиная с первых идей усовершенствования имеющихся инструментов и заканчивая принятием новых, до настоящего времени невиданных, являются перспективными. Их принятие и реализация могут быть решены как в кратчайшие сроки освоения, так и на протяжении многих лет, учитывая трудности производства и конечные результаты. Но не стоит забывать о прототипировании такого рода конструкций инструментов и принципов, лежащих в основе, а также проведении опытных экспериментальных исследований по анализу особенностей их работы и прогнозирования показателей состояния обрабатываемых деталей.

Список литературы

- 1 Bratan, S.M. Quality improvement of manufacturing rolling mill rolls / S.I. Roshchupkin, A.O. Kharchenko, S.V. Belousov // CIS Iron and Steel Review. – 2021.– Vol. 22. – Pp. 26-31.
2. Братан, С.М. Влияние на вероятность удаления материала относительных вибраций абразивного инструмента и заготовки при чистовом шлифовании / С.М. Братан, С.И. Рощупкин, А.С. Часовитина, К. Гупта // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2022. – Т. 24. № 1. – С. 33-47.
3. Bratan, S. Influence of the tool working surface state on evaluation of the forming filter parameters // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 709, Issue 2 (2020) 022009. DOI 10.1088/1757-899X/709/2/022009

4. Bratan, S. Experimental Research of the Process of Micro-Grinding of Precision Surfaces of Instrument Parts with Abrasive Tools /, Roshchupkin, S., Chasovitina, A., Kolesov, A.// AIP Conference Proceedings 2503, 070029 (2022). DOI 10.1063/5.0101305
5. Теплова, Т. Б. Учет акустических и температурных параметров при определении управляющих параметров микрошлифования твердых материалов / Т. Б. Теплова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – № 1. – С. 103-104.
6. Сильченко, О. Б. Пластичное микрошлифование - альтернативный способ обработки хрупких материалов / О. Б. Сильченко // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2018. – № 1(62). – С. 24-28.
7. Кудинов, В. А. Динамика станков / В. А. Кудинов. – М.: Машиностроение, 1967.

УДК 621.565

ВЛИЯНИЕ ПРОЧНОСТИ ГРАНИЦ РАЗДЕЛА НА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Э.С. Гордеева¹

1 ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Россия

АННОТАЦИЯ

В статье изложены представления о влиянии границ раздела (границ зерен и ячеек). Их прочность в большей степени влияет на механизм разрушения и трещиностойкость хрупких металлических материалов. Это влияние рассмотрено на примере влияния границ раздела в литых и спеченных металлических материалах. Показана определяющая роль механизма разрушения на ход зависимости трещиностойкости от ряда структурных параметров.

Ключевые слова: трещиностойкость, границы раздела, межзеренное и межъячеистое разрушение, пластическая деформация, механизм разрушения, начальная трещина, пористость.

INFLUENCE OF THE STRENGTH OF THE INTERFACE ON THE CRACK RESISTANCE OF VARIOUS MATERIALS

E.S. Gordeeva¹

¹Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

ABSTRACT

The article presents ideas about the influence of the interface boundaries (grain and cell boundaries). Their strength has a greater effect on the mechanism of destruction and crack resistance of brittle metal materials. This effect is considered by the example of the influence of the interface boundaries in cast and sintered metal materials. The determining role of the fracture mechanism on the course of crack resistance dependence on a number of structural parameters is shown.

Keywords: crack resistance, interface boundaries, intergranular and intercellular fracture, plastic deformation, fracture mechanism, initial crack, porosity.

Постановка проблемы. Фундаментальные и прикладные исследования в области механики разрушения твердых тел основаны на современных методах исследования, разработке перспективных моделей и критериев механики разрушения. Результаты таких исследований находят применение в объектах с повышенными параметрами рабочих процессов, ресурса и технологий безопасности на стадиях конструирования, изготовления и эксплуатации. Особенно они востребованы в машиностроительных, нефтяных и газовых компаниях.

Цель статьи – сделать обзор результатов по влиянию состояния границ раздела на трещиностойкость материалов.

Изложение основного материала. Практически все металлы и сплавы имеют структурную химическую неоднородность. Одним из элементов неоднородности являются внутренние границы раздела, прочность которых в значительной степени определяют механизм разрушения и трещиностойкость материалов, а также вид зависимости трещиностойкости от других структурных факторов, таких как пористость и объем второй фазы. К таким границам относятся, прежде всего, границы зерен и дислокационных ячеек, а также границы частиц в спеченных порошковых материалах.

Ввиду значительной условности понятия «прочность границ раздела» и отсутствия методик по измерению прочности сцепления отдельных структурных элементов авторы оперируют этим понятием чисто на качественном уровне, скорее, относящимся к понятию склонности к разрушению по границам элементов структуры. К примеру, межзеренно хрупко разрушающийся материал обладает низкой прочностью межзеренного сцепления, в то время как неразрушающийся межзеренно материал относится к классу с высокой межзеренной прочностью. И хотя такое деление материалов условно, оно весьма полезно, особенно при рассмотрении температурных зависимостей трещиностойкости материалов, претерпевавших хрупко-пластичный переход. Известно, что хрупко-пластичный переход, который наблюдается в материалах с резкой температурной зависимостью предела текучести (керамические материалы), сопровождается сменой механизмов разрушения [1], в частности, наблюдается смена внутризеренных механизмов межзеренными. Это находит соответствующее отражение в уровне тех или иных механических свойств. Такая особенность наблюдается в различных материалах и зависит от технологии их изготовления.

Влияние границ раздела на трещиностойкость рассмотрим на примере влияния состояния границ раздела в литых и спеченных металлических материалах. Состояние границ зерен заметно сказывается и на зависимости трещиностойкости от других структурных параметров, таких как пористость.

Литые металлы, такие как хром и молибден, отличаются прочностью границ раздела. Но есть различие в уровне прочности границ раздела в этих металлах.

В молибдене наблюдается межзеренное и межячеечное разрушение, а в деформированном состоянии – межзеренное и межячеечное расслоение. Спеченные молибденовые материалы также характеризуются и межячеечным разрушением. Это говорит о сравнительно низкой прочности границ раздела и зерен, и ячеек в молибдене, благодаря сегрегациям примесей элементов внедрения [2]. В процессе роста зерна мигрирующие границы захватывают примесные атомы, увеличивая их концентрацию на периферии зерен. Степень сегрегации зависит от граничной концентрации, температуры, физической природы примеси и других факторов. В случае, если концентрация примесей на границе зерна

превышает пределы растворимости, возможно образование в пограничной зоне легкоплавких эвтектических фаз или даже химических соединений.

В хроме практически не наблюдается межзеренное и межъячеистое разрушение. Деформированный хром не слоится, что свидетельствует о более высокой прочности границ зерен и ячеек по сравнению с прочностью сцепления атомных плоскостей самого хрома. При этом при деформации в хроме легко зарождаются поры, а скол с релаксацией наблюдается редко. Такое явление более типично для молибдена в отсутствие межзеренного разрушения.

Эта разница в механизмах разрушения сказывается в разном ходе зависимостей трещиностойкости хрома и молибдена от температуры при переходе их из хрупкого состояния в пластичное, поскольку сколу в хроме могут предшествовать только ямочное разрушение и редко – скол с релаксацией. А в молибдене – межзеренное разрушение, скол с релаксацией, расслоение, и только вблизи верхней температурной границы хрупко-пластичного перехода – ямочное разрушение [1].

Склонность к расслоению по границам раздела обуславливает и различный ход температурных зависимостей пластических характеристик хрома и молибдена [2].

Обусловленное динамическими эффектами ветвление трещин скола также по-разному проявляется в хроме и молибдене. Ветвление трещин скола – типичное для хрома явление, приводящее к разделению образцов при испытании на растяжение на три части. Особенно подвержен ветвлению деформированный хром. В молибдене это явление редкое, оно наблюдается лишь в тех состояниях, когда трещина, не тормозясь границами раздела, может развить свою скорость до критической.

Зависимость трещиностойкости молибдена от степени пластической деформации неравномерна. В области очень больших деформаций (до 60%), где разрушение совершается сколом как от поперечных, так и от продольных трещин, трещиностойкость уменьшается немонотонно. В интервале деформаций 0 – 15% эта немонотонность объясняется образованием дислокационных скоплений, в интервале 15 – 60% – слабо разориентированной ячеистой структурой. Последующее увеличение деформации приводит к образованию разориентированной ячеистой структуры, границы которой приближаются по свойствам к границам зерен, как по уровню внутренних напряжений, так и содержанию примесей. Увеличение деформации в пределах любого структурного состояния и механизма разрушения приводит к снижению трещиностойкости.

При введении трещин поперек направления прокатки разрушение происходит сколом с увеличивающейся по мере роста деформации долей межзеренного и межъячеистого расслоения.

При деформации выше 60% рост трещиностойкости обусловлен затуплением трещины скола межзеренными и межъячеистыми трещинами, возникающими вследствие высокого уровня внутренних напряжений и примесей. При продольном введении трещин эти же трещины облегчают их распространение. Механизм разрушения – межзеренный и межъячеистый.

Таким образом, вид зависимости трещиностойкости определяется также и изменением механизма разрушения от скола в межзеренное или межъячеистое, когда введение начальной трещины изменяется.

Установлено [2], что вид зависимости трещиностойкости и ударной вязкости материала от пористости зависит от механизма разрушения. При межзеренном, или межчастичном разрушении прочность, как и ряд других свойств, монотонно спадает с ростом пористости. В то же время, если удастся сохранить скол во всем интервале пористости, то зависимость трещиностойкости от пористости приобретает уже не монотонный вид со значительным ростом трещиностойкости в интервале, когда структура материала изменяется от материала с

изолированными порами в роли дефектов до материала со связанными порами, превращающими пористый материал в композит, в котором разветвленная сеть границ раздела приводит к остановке трещин скола, что и определяет рост энергии разрушения. Эта оптимальная пористость лежит в интервале 15 – 25%, в отличие от интервала 5 – 10%, где в ряде пластичных материалов изменение пористости провоцирует смену механизма разрушения от скола к слиянию пор [3].

Что касается керамических материалов, то хрупкое разрушение происходит сколом в случае прочных границ зерен или межзеренно, если границы слабы.

Пластичное разрушение поликристаллических керамик происходит при достаточно высоких температурах. В монокристаллах и крупнозернистых поликристаллах пластическая деформация формирует ячеистую структуру со всеми вытекающими последствиями – зарождением трещин по границам ячеек, растрескиванием, образованием пор, последующее слияние которых формирует специфический ямочный излом [4]. Материалы со стекловидными легкоплавкими фазами имеют слабые границы зерен и разрушаются межзеренно во всем интервале температур.

Трещиностойкость чистых материалов в интервале температур $0,6 - 0,8 T_{пл}$ растет [5]. Дальнейшее повышение температуры выше $0,8 T_{пл}$ приводит к заметному увеличению пластических характеристик. Трещиностойкость резко падает. Наблюдается переход к высокотемпературному межзеренному разрушению путем межзеренного проскальзывания вследствие усиления диффузионных процессов по границам зерен.

Материалы с «грязными» непрочными границами зерен по мере «размягчения» легкоплавких межзеренных фаз проявляют значительное снижение трещиностойкости и прочности. В отличие от чистых материалов с прочными границами зерен, в которых межзеренное проскальзывание становится возможным лишь после зарождения межзеренных трещин вследствие пластического деформирования зерен, в этих металлах межзеренное разрушение и проскальзывание наступаю, минуя стадию пластического зарождения трещин, что и объясняет наблюдаемое падение свойств.

Таким образом, данный обзор показывает существенную роль внутренних границ раздела типа границ зерен, частиц и дислокационных образований, их химического состава на трещиностойкость хрупких материалов.

Список литературы

1. Пестриков В.М. Механика разрушения твердых тел / В.М. Петриков, Е.М. Морозов. – СПб: Профессия, 2002. – 320 с.
2. Матвиенко Ю.Г. Тенденции нелинейной механики разрушения в проблемах машиностроения / Ю.Г. Матвиенко. – М.: Машиностроение, Ижевск, 2015. – 56 с.
3. Власов А.И. Электронная микроскопия: учеб. пособие / А.И. Власов, К.А. Елсуков, И.А. Косолапов. – М.: Изд-во МГУ им. Баумана, 2011. – 168 с.
4. Либенсон Г.А. Процессы порошковой металлургии. / Г.А. Либенсон, В.Ю. Лопатин, Г.В. Комарницкий В 2-х т. Том 1. Производство металлических порошков: Учебник для вузов, М.: МИСИС, 2001. – 368 с.
5. Либенсон Г.А. Процессы порошковой металлургии. / Г.А. Либенсон, В.Ю. Лопатин, Г.В. Комарницкий В 2-х т. Том 2. Формование и спекание.: Учебник для вузов, М.: МИСИС, 2002. – 320 с.