

СОДЕРЖАНИЕ

Акимов А.И., Киселева И.В. Из истории робототехники	5
Безсонов Д.В., Киселева И.В. Применение адаптивного управления в металлорежущих станках	10
Воробьев А.А., Полтавец В.В. Применение шаговых двигателей в исполнительных механизмах металлорежущих станков	14
Гудым Ю.В., Приходько Т.В., Слабун Е.В. Инновационные методы обработки металлов	20
Кот Д.А. Киселева И.В. Метаматериал – «диод» для механической нагрузки	25
Лазарев Д.С., Гусев В.В. Анализ методов управления параметрами рабочей поверхности алмазных шлифовальных кругов	28
Лукашук В.М., Сорока Л.В. Повышение эффективности обработки резанием за счет высокоскоростной обработки	36
Макаренко Р.И., Молчанов А.Д., Гусев В.В. Особенности магнито-абразивной обработки внутренних фасонных поверхностей	40
Мосеров К.Н., Полтавец В.В. Описание процесса взаимодействия струи смазочно-охлаждающей жидкости с обрабатываемой поверхностью как с неподвижным препятствием	44
Назаров С.С., Молчанов А.Д. Гусев В.В. Разработка и моделирование автоматизированного учебного комплекса механической обработки	48
Портной П.В., Молчанов А.Д. Обзор современных систем автоматического управления	52
Савчук А.В., Жаркова С.А. Конструкции и технологические возможности шлифовальных станков передовых станкостроительных фирм	58
Смердов К.Ф., Грибач Э.К., Моисеев Д.А. Оценка состояния рабочей поверхности алмазного шлифовального круга с помощью профилографирования	66
Топоркова А.Ю., Шаповалова Н.Н. Высокопроизводительная обработка титановых сплавов фрезерованием	71
Узун В.И., Поезд С.А. Исследование температуры шлифования хрупких неметаллических материалов, сопоставление результатов	78
Чернорай А.А., Полтавец В.В. Особенности конструкций шпинделей шлифовальных станков, которые влияют на микрогеометрию обработанной поверхности	83
Шутов В.И., Грудева Л.Н. Применение 3D-технологий в машиностроении	91

ИЗ ИСТОРИИ РОБОТОТЕХНИКИ

Акимов А.И, Киселева И.В. (кафедра МСМО, ДонНТУ, г. Донецк)

Аннотация

В статье кратко описана история появления роботов, основные этапы и перспективы их использования в производстве и быденной жизни.

Ключевые слова

Робот, станок с ЧПУ, программное управление, электроника.

Сегодня нам трудно представить свою жизнь без роботов и различных автоматических устройств, заменивших человека в самых разных сферах промышленности и повседневной жизни. Несмотря на относительно недолгую историю робототехники, она прочно вошла в нашу жизнь, заменив человека в наиболее опасных условиях работы.

В данной статье кратко приведена история развития автоматизации и робототехники.

Исходной точкой развития промышленной робототехники стал 1947 год. С началом ядерной эпохи в США группой ученых Аргоннской национальной лаборатории, во главе которой стоял Р.Герцем, был создан первый в своем роде автоматический электро-механический манипулятор с копирующим управлением. Данный механизм мог повторять движения человека и работать с опасными радиоактивными материалами. Но у него были существенных недостатки, например, он не имел обратной связи по силе. Однако уже в 1948 году компания «General Electric» разработала копирующий манипулятор «*Handy Man*», в котором такая обратная связь имелась и оператор мог воспринимать силы, воздействующие на захват манипулятора.

Первые промышленные роботы появились в середине 50-х годов XX века в США. Все началось с Дж. Девола (рис. 1) инженера, который разработал способ управления погрузочным манипулятором с помощью перфокарт и подал патентную заявку на сконструированное им «программируемое устройство для переноски предметов». Практически сразу они совместно с Дж. Энгельбергом создали компанию, которая впервые в мире начала выпускать промышленных роботов. Эта компания получила название «Unimation»[1].

Рис. 1. Джордж Девола и промышленный робот «Unimation».[4]



В 1959 году фирма «Консолидейтед Корпорейшн» (США) опубликовала описание манипулятора с числовым программным управлением (ЧПУ), а в 1960—1961 гг. в американской печати появились первые сообщения о манипуляторах «*Transferrobot*» и «*Elximan*» с программным управлением для автоматизации сборочных и других работ.

Экспериментальный экземпляр робота «Unimation» был создан в 1959 г., а весной 1961 года этот промышленный робот был введен в эксплуатацию на литейном участке одного из заводов автомобильной корпорации «General Motors», в городе Юинг — пригороде Трентона. Робот захватывал раскаленные отливки дверных ручек и других деталей автомобиля, опускал их в бассейн с охлаждающей жидкостью и устанавливал на конвейер, после чего они поступали к рабочим для обрезки и полировки. Работая 24 часа в сутки, робот заменял три смены рабочих на тяжелом, грязном и опасном производстве. Данный робот имел пять степеней подвижности, имел гидропривод и двухпальцевое захватное устройство с пневмоприводом. Перемещение объектов массой до 12 кг осуществлялось с точностью 1,25 мм. В качестве системы управления использовался программноноситель в виде кулачкового барабана с шаговым двигателем, рассчитанный на 200 команд управления, и кодовые датчики положения. В режиме обучения оператор задавал последовательность точек, через которые должны пройти звенья манипулятора в течение рабочего цикла. Робот запоминал координаты точек и мог автоматически перемещаться от одной точки в другой в заданной последовательности, многократно повторяя рабочий цикл. На операции разгрузки машины для литья под давлением «Unimation» работал с производительностью 135 деталей в час, доля брака составляла 2 %, тогда как производительность ручной разгрузки составляла 108 деталей в час при браке до 20 %.

Промышленный робот «Версатран», имевший три степени подвижности, в качестве программноносителя использовал магнитную ленту. Он использовался обжиговой печи и мог загружать и разгружать до 1200 раскаленных кирпичей в час. В то время соотношение затрат на электронику и механику в стоимости робота составляло 75 % и 25 %, поэтому многие задачи управления решались за счет механики. Сейчас это соотношение составляет 25 % и 75 % соответственно.

Массовое использование промышленных роботов в Европе началось в 1967 году. Первый робот «Юнимейт» был установлен на металлургическом заводе Швеции в городе Уппландс-Весбю. В этом же году в эру робототехники вступила Япония, которая приобрела робота «Версатран».

Вскоре в Японии и Швеции, а также в Великобритании, ФРГ, Италии и Норвегии начался выпуск промышленных роботов собственного производства. В 1968 году компания «Кавасаки Хэви Индастриз» приобрела лицензию у фирмы «Юнимейшн» для производства промышленных роботов и уже в 1970 году Япония вышла на первое место в мире, как по годовому выпуску роботов, так и по числу промышленных роботов, установленных на предприятиях страны.

В Советском Союзе промышленные роботы появились в 1971 году, благодаря Николаю Петровичу Белянину и Борису Николаевичу Сурнину, которые создали роботов УМ-1 и «Универсал-50». С 1972 по 1975 гг. в СССР появилась целый спектр промышленных роботов, таких как серия «Универсалов» (рис. 3), ПР-5, «Бриг-10», ИЭС-690, МП-9С, ТУР-10 и др.

С 60 годов в США разрабатывались роботы с системами управления, основанными обратной связи. Первоначально задающие устройства в этих системах формировались на коммутаторной плате; в 1974 г. фирма «Цинциннати Милакрон» впервые применила в системе управления роботом компьютер, создав промышленный робот Т³ (The Tomorrow Tool) [4].

На сегодняшний день машиностроение является самой роботизированной отраслью промышленности. Применение роботов обусловило существенное повышение производительности, получение продукции высокого качества по более низкой цене. Роботу в отличие от человека не требуется хорошее освещение, поддержания оптимальной температуры на местах работы. Также уменьшается производственная площадь, ведь промышленные роботы можно устанавливать как на стене, так и на потолке. Повышается безопасность

труда, манипуляторы могут без проблем работать с радиоактивными или химическими опасными материалами, в помещениях с высокой температурой или повышенной запыленностью. Увеличивается качество выпускаемой продукции и уменьшается количество бракованных изделий. Роботу не требуется выходных или перерывов, он спокойно может работать 24 часа в сутки 7 дней в неделю. При правильной эксплуатации затраты на приобретения и обслуживание робота окупаются в течении одного года.

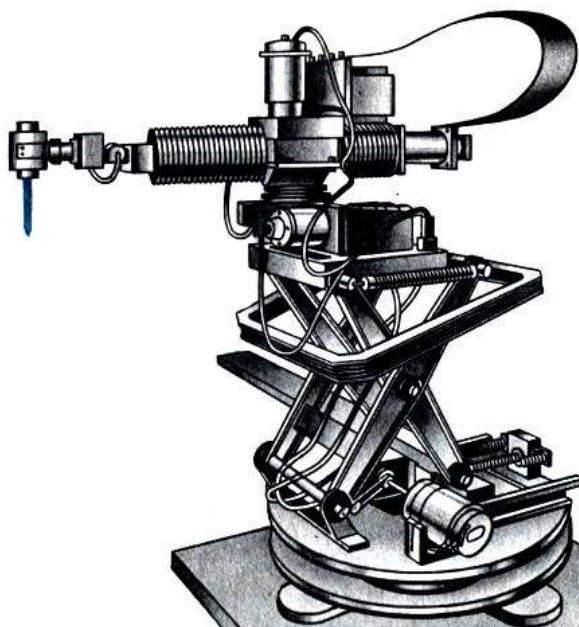


Рис.3 – Промышленный робот «Универсал -5».[3]

В конструкции робота может присутствовать один или несколько манипуляторов, при этом сам манипулятор может обладать различной грузоподъемностью, точностью позиционирования, количеством степеней свободы. Стоит отметить, что существуют простые механизмы с 2-3 степенями свободы, и сложные - более 6 степеней свободы. [3].

Производственные процессы в машиностроении очень разнообразны. Их можно разделить на заготовительные процессы (ковка, литье, штамповка), процессы обработки заготовок (механическая обработка литых, кованных, штампованных деталей), сборку (монтаж, сварка) и завершающую обработку (покраска, упаковка).

Применение роботов позволяет существенно повысить производительность штамповочного производства. Это связано с тем, что время штамповки детали составляет 1-6 секунд, в то время как вспомогательные операции (подача заготовки и ее удаление) занимают гораздо больше времени. Использование роботов значительно сокращает время на вспомогательные операции. В данной области применяются устройства как с одним или двумя рабочими органами, причем двузхватные роботы гораздо более эффективны.

В механообработке роботы выполняют вспомогательную роль. Их назначение заключается в подаче и установке заготовки на станок, а также удаление обработанной детали со станка. Эффективность применения роботов в данной области очевидна - они полностью замещают человека при работе с металлорежущими станками, тем самым снижая вероятность травматизма.

Большую роль в машиностроении играют сборочные роботы (рис. 4). Они применяются для сборки различных агрегатов и узлов из отдельных элементов и деталей. Их назначение - монтаж и фиксация деталей.

При сборке очень большое значение имеет точность позиционирования отдельных деталей. Современные роботы обеспечивают точность до 0,05 мм, что во много раз превосходит возможности человеческого глаза. На типичном сборочном механизме установлены несколько роботов, каждый из которых выполняет свою операцию - подача, удержи-

вание, сцепление деталей. Управление процессом производится бортовым компьютером по заданному алгоритму. Робот оснащен датчиками обратной связи, основным из которых является датчик усилия. Современные механизмы могут выполнять разные виды сборки.



Рис. 4. Роботы на производстве [2].

В настоящее время рынок промышленной робототехники активно развивается. Спрос на автоматизацию постоянно растет даже среди небольших предприятий. Использование робототехники имеет большой потенциал. Она позволяет минимизировать время производства и увеличить производительность. Также отмечается снижение производственных издержек. Внедрение роботов позволяет сократить штат рабочих. Кроме этого, роботу можно доверить выполнение особо ответственных задач, что позволит избежать ошибок и исключить так называемый «человеческий фактор».

Безусловно, автоматизация производства выгодна производителям. Но процесс массового внедрения передовых технологий идет недостаточно быстро. Возникает вопрос: Что тормозит массовое внедрение автоматизации? Действительно, развитие робототехнической промышленности требует больших инвестиций. Главные мировые компании на сегодняшний день все-таки больше привлекает дешевая рабочая сила, нежели инновационные решения автоматизации. Промышленно развитые страны, такие как Франция, Япония и Германия, размещают свое производство в странах с развивающейся экономикой, например, в Индии или Бразилии. Тем не менее, прогнозы в отношении дальнейшего развития отрасли достаточно благоприятны. Вместе с тем на рынке промышленных роботов активно развивается тенденция производства индивидуальных технологий и систем автоматизации [2].

В заключении так же нужно отметить, что крупным рынком сбыта робототехники может быть не только промышленность. Было бы несерьезно рассматривать современную робототехнику как модное направление промышленной автоматизации, которое после пика своей популярности станет лишь еще одним инструментом в руках инженера. Потенциально существует много непромышленных направлений роботизации.

В военной промышленности роботы выполняют функции, как действующей силы, так и помощников для военнослужащих. К примеру, роботы для переноски и погрузки тяжелых грузов. А представьте, сколько жизней могут, и спасли, роботы саперы. Ведь им не страшны взрывы, и даже если бомба повредит робота, то его можно восстановить, чего нельзя сказать о человеческой жизни. Уже непродолжительное время в военной индустрии используются дроны в качестве разведчиков и эффективной боевой силы (рис.5).

Весьма длительное время ведется разработка экзоскелетов военного типа, полностью автоматических или полуавтоматической техники.



Рис. 5. БПЛА Predator B с вооружением.[4]

Бытовые роботы уже достаточно плотно вошли в жизнь людей. Они постоянно развиваются, на рынки выходят новые виды автоматизированных автономных устройств, к примеру, роботы пылесосы (рис.6), которые осуществляют уборку дома без вмешательства человека. Стоит отметить, что изначально планировалось, что именно бытовые роботы станут наиболее распространенными, однако это не так. Хотя можно отметить тенденции на увеличение спроса таких устройств.



Рис. 6. Робот пылесос.[4]

Роботизация так же не обошла и медицину. Теперь с помощью новейших технологий стала доступна возможность совершать операции которые когда то считались не выполнимыми. Широкой массе стали доступны новейшие разработки в сфере протезирования конечностей.

Подведя итоги можно сказать, что роботизации промышленности – это важный шаг в развитии человечества. Также применения роботов в других сферах дает человеку больше возможностей для развития и широкий спектр возможностей в изучении робототехники как современной науки.

Список литературы: 1. Корзев, Ю.Г. Применение промышленный роботов [Текст]: Учебное пособие / Ю.Г. Козрев– Москва :КНОРУС , 2017 . – 494 с., 2. Новости промышленных роботов и автоматизации производства [Электронный ресурс] . - режим доступа: https://robotics.ua/news/industrial_robots 3. Techno guide [Электронный ресурс] . - режим доступа: www.techno-guide.ru. 4. Википедия свободная энциклопедия [Электронный ресурс] . - режим доступа: <https://ru.wikipedia.org>.

ПРИМЕНЕНИЕ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ В МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ

Безсонов Д.В., Киселева И.В. (кафедра МСМО, ДонНТУ, Донецк, ДНР)

Аннотация

В данной статье рассмотрены особенности адаптивных систем управления, назначение, тенденции развития и преимущества этих систем.

Ключевые слова

Станок с ЧПУ, программное управление, адаптация, точение.

Идея адаптивного управления металлорежущими станками впервые была выдвинута советским ученым профессором, доктором технических наук лауреатом Ленинской премии Б. С. Балакшиным. Под его руководством в Московском станкоинструментальном институте разработаны различные системы адаптивного управления станками с целью повышения их точности и производительности, более эффективного использования инструмента и оборудования, сокращения затрат на электроэнергию и т. д.

Адаптивной системой управления называют систему, обладающую способностью изменять свои параметры в зависимости от изменения внешних условий и свойств технологического объекта [3].

При обработке детали на металлорежущем станке всегда детали имеют место различные непостоянные факторы, влияющие непосредственно на процесс обработки: неравномерный припуск и неодинаковая твердость обрабатываемого изделия, изменение режущих свойств инструмента по мере его затупления и т.д. Для устранения этого и обеспечения требуемой точности нужно вводить коррективы в технологический процесс, что значительно усложняет работу станочника.

При возможных ошибках оператора в определении и внесении коррекций может привести не только снижение производительности, но и перегрузкам станка, повреждению инструмента. Применение адаптивных систем управления исключает эти недостатки. Фиксирование состояния оборудования и внесение корректив происходит за счет специальных динамометрических устройств с высокочувствительными датчиками и быстродействующих исполнительных механизмов. Достижение заданной точности обработки достигается за счет автоматического изменения относительных перемещений соответствующих звеньев системы СПИД в зависимости от возникающих отклонений в работе (неравномерный припуск или притупился инструмент) вызывающих изменение силы резания [2].

Системы адаптивного управления делятся на два типа: предельного и оптимального регулирования [1].

Адаптивные системы предельного регулирования обеспечивают постоянное значение заданных параметров процесса резания при действии различных возмущений (рис. 1).

Адаптивные системы оптимального управления при обработке заготовок осуществляют автоматический поиск и автоматически поддерживают такое сочетание основных параметров резания, при которых выдерживаются оптимальные значения заданных параметров обработки. Техническими ограничениями являются максимальные и минимальные значения параметров, допустимые на данном станке (подача и частота вращения, уровень вибрации, максимально допустимая глубина резания и др.)

Наибольшее распространение получили системы оптимального регулирования, в которых поправка вносится путем автоматического регулирования рабочей подачи ин-

струмента, для этого приводы подачи станков оснащаются бесступенчатыми вариаторами и двигателями постоянного тока (рис. 2).

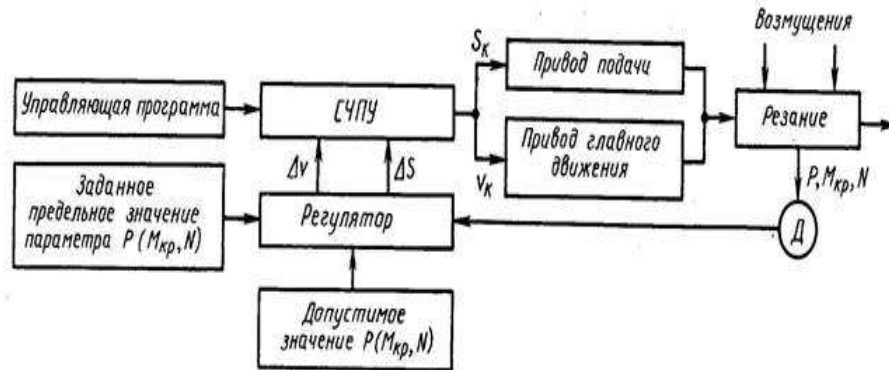


Рис. 1. Блок-схема системы предельного управления станком.

Предположим, что при обработке детали увеличился снимаемый припуск. Это приведет к повышению силы резания, а также непредусмотренным перемещениям в системе СПИД. Датчик упругого перемещения, фиксирующий изменение силы резания, осуществляет передачу электрического сигнала на сравнивающее устройство, где происходит сравнение фактической и требуемой (оптимальной) величин. Сигнал рассогласования проходит через усилитель и поступает на двигатель. Таким образом, происходит непрерывное регулирование рабочей подачи и ее самоприспособление к условиям резания и оптимизация процесса, что влечет за собой повышение точности обработки, а также предотвращает поломку инструмента и не допускается перегрузка главного привода.

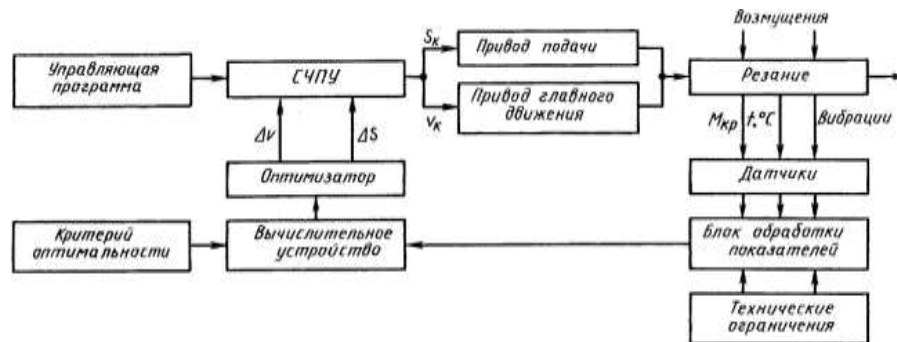


Рис. 2. Блок-схема системы оптимального управления станком

Наиболее информативным показателем процесса резания является изменение силы резания, что обусловлено совместным влиянием изменения припуска на обработку, затупления режущего инструмента, колебаний твердости обрабатываемого материала и других факторов на силу резания. Для измерения силы резания в процессе обработки были и разработаны специальные средства измерения. Далее рассмотрены датчики измерения, применяемые на токарных станках.

Средства измерения составляющих сил резания проектируют обычно как однокомпонентные, реже – двухкомпонентные датчики, в которых осуществляется двойное преобразование: измеряемая силовая характеристика преобразуется в перемещение или деформацию некоторого упругого элемента, а затем посредством измерительного преобразователя - в электрический сигнал.

Давление измеряется с помощью полупроводниковых датчиков, чувствительные элементы которых связаны с карманами. Резцедержатель (рис. 3) закрепляют на суппорте станка таким образом, что его часть с резцом оказывается консольной. Установочный винт этой части воздействует на сердечник индуктивного датчика перемещений, фиксируя

все изменения величины и направления силы резания.

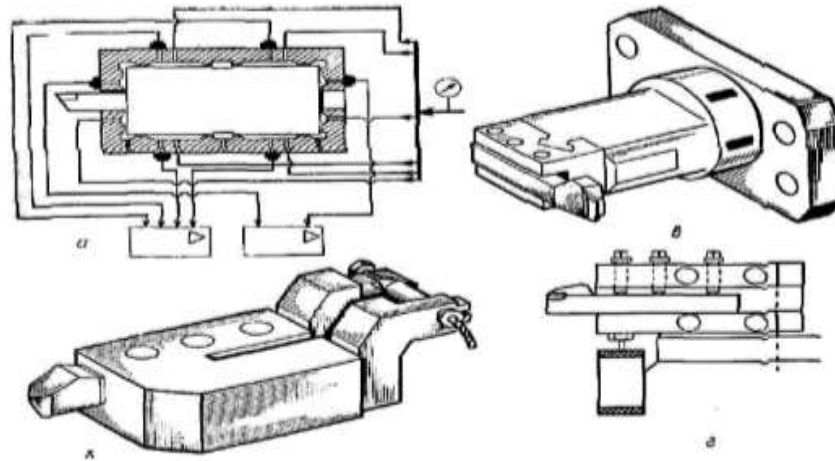


Рис. 3. Динамометрические резцедержатели

Наиболее пригодными для шпинделей металлорежущих станков являются магнитоупругие датчики измерения крутящего момента (рис. 4). Датчик представляет собой кольцевую электромагнитную систему, через центральное отверстие которой свободно проходит шпиндель. Достоинство этих датчиков заключается в том, что не нужны токо-съемные устройства с вращающегося шпинделя и конструкция шпиндельного узла при встройке датчика практически не претерпевает изменений.

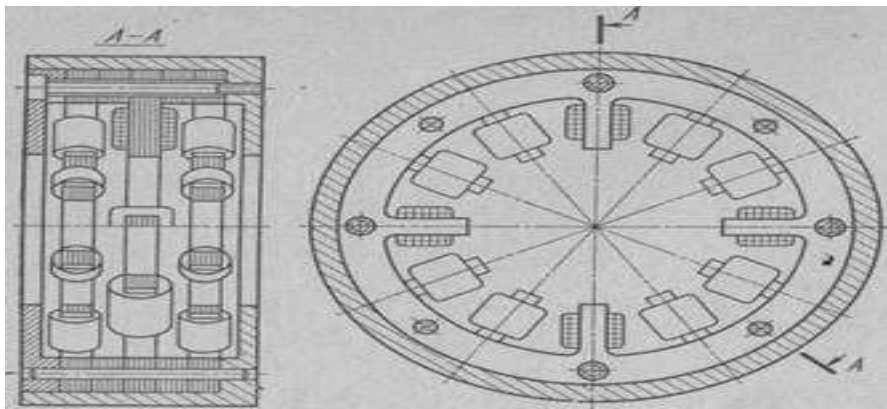


Рис. 4. Магнитоупругий датчик

Средства измерения температуры в зоне резания

Изменение параметров процесса резания можно фиксировать также по изменению температуры в зоне резания. Информация о температуре в зоне резания станка, оснащенного автоматической системой управления, это критерий оценки износа инструмента. Наибольшее практическое применение в станках получил способ измерения термо-ЭДС естественной термопарой «инструмент – деталь», который характеризуется вольт-амперной характеристикой. Скорость резания в наибольшей степени влияет на температуру в зоне резания и вызывает изменение термо-ЭДС. Широко распространены резцы с встроенным термоэлементом (рис. 5).

Твердосплавная резцовая пластинка 1 механически крепится к державке без электрической изоляции. Стержень 3, состоящий из твердого сплава, изолирован от корпуса 9 керамической втулкой 2 и прокладкой из стеклотекстолита 5 от поджимающей стержень пружины 4. Стержень связан с латунной штекерной втулкой 8 с помощью проволоки из

компенсационного материала (алюминия или никеля). Компенсационный провод от корпуса изолирован (изоляция 6), а штекерная втулка закреплена в текстолитовом кронштейне 7.

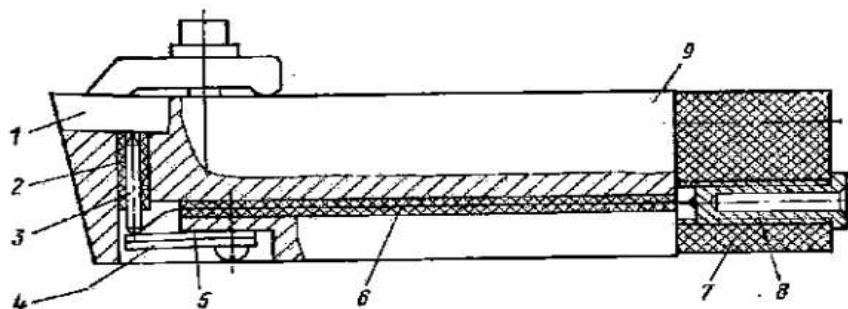


Рис. 5. Резец со встроенным термоэлементом для измерения температуры

В процессе резания в месте контакта возникает термо-ЭДС. Напряжение термопотока регистрируется милливольтметром. Для определения температуры строят тарировочный график зависимости между показаниями милливольтметра и соответствующей температурой.

Таким образом, адаптивные системы целесообразно использовать в каждом металлорежущем станке. Данные средства повышают точность обработки, производительность, надежность оборудования, однако, из-за сложности практической реализации рассмотренные средства целесообразно применять только в случае необходимости обеспечения высокой точности обработки.

Список литературы: 1. Голембиевский, А. И. Системы управления технологического оборудования [Текст] : учеб.-метод. комплекс для студентов спец. 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства» / А. И. Голембиевский. – Новополюк : ПГУ, 2009. – 308 с. 2. Системы адаптивного управления станками [Электронный ресурс] . - режим доступа: <http://delta-grup.ru/bibliot/7k/47.htm> . 3. Большая энциклопедия нефти и газа [Электронный ресурс] . - режим доступа: <http://www.ngpedia.ru/id429197p1.html>

ПРИМЕНЕНИЕ ШАГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМАХ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Воробьев А.А., Полтавец В.В. (кафедра МСМО, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

Аннотация: В статье рассмотрено устройство и особенности конструкции шаговых электродвигателей. Описано применение шаговых двигателей в исполнительных механизмах современных металлорежущих станков, возникающие при этом проблемы и методы их решения.

Ключевые слова: шаг, ротор, статор, угол, обмотка, момент, импульс, микрошаг, нагрев.

Введение

В современном машиностроении основным выходным параметром получаемых изделий является точность деталей. На точность детали наибольшее влияние оказывает точность движений формообразования. Для повышения точности геометрии детали перспективным является применение электрических шаговых двигателей (ШД).

Шаговый электродвигатель – это синхронный бесщёточный электродвигатель с несколькими обмотками, в котором ток, подаваемый в одну из обмоток статора, вызывает фиксацию ротора (рис. 1). Последовательная активация обмоток двигателя вызывает дискретные угловые перемещения (шаги) ротора [1].

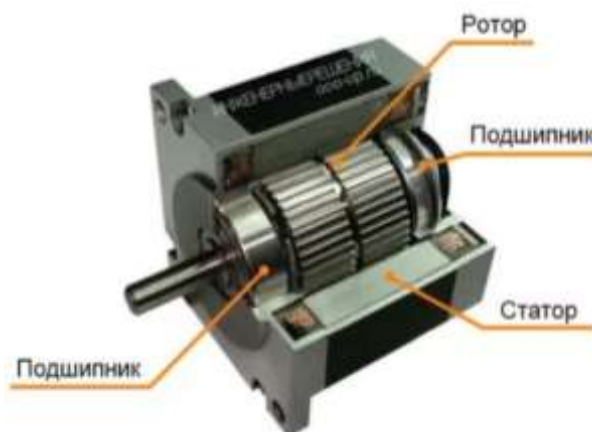


Рис. 1. Общий вид шагового двигателя

Описание конструкции шагового двигателя

Конструктивно шаговые электродвигатели состоят из статора, на котором расположены обмотки возбуждения, и ротора, выполненного из магнито-мягкого или из магнито-твёрдого материала. Шаговые двигатели с магнитным ротором позволяют получать большой крутящий момент и обеспечивают фиксацию ротора при обесточенных обмотках.

Таким образом, по конструкции ротора выделяют следующие разновидности шагового двигателя [1]:

- с постоянными магнитами (ротор из магнито-твёрдого материала);
- реактивный (ротор из магнито-мягкого материала);
- гибридный.

Гибридные двигатели сочетают в себе лучшие черты двигателей с переменным магнитным сопротивлением и двигателей с постоянными магнитами [2].

Статор гибридного двигателя также имеет зубцы, обеспечивая большое количество эквивалентных полюсов, в отличие от основных полюсов, на которых расположены об-

мотки. Обычно используются 4 основных полюса для $3,6^\circ$ поворота ротора двигателя и 8 основных полюсов для $1,8^\circ - 0,9^\circ$ поворота ротора двигателя. Зубцы ротора обеспечивают меньшее сопротивление магнитной цепи в определённых положениях ротора, что улучшает статический и динамический момент. Это обеспечивается соответствующим расположением зубцов, когда часть зубцов ротора находится строго напротив зубцов статора, а часть между ними.

Ротор гибридного двигателя имеет зубцы, расположенные в осевом направлении. Ротор разделён на две части, между которыми расположен цилиндрический постоянный магнит. Таким образом, зубцы верхней половинки ротора являются северными полюсами, а зубцы нижней половинки – южными. Кроме того, верхняя и нижняя половинки ротора повернуты друг относительно друга на половину угла шага зубцов. Число пар полюсов ротора равно количеству зубцов на одной из его половинок. Зубчатые полюсные наконечники ротора, как и статор, набраны из отдельных пластин для уменьшения потерь на вихревые токи.

Использование шаговых электродвигателей в машиностроении

В машиностроении наибольшее распространение получили высокомоментные двухфазные гибридные шаговые электродвигатели с угловым перемещением $1,8^\circ/\text{шаг}$ (200 шагов/об) или $0,9^\circ/\text{шаг}$ (400 шагов/об) [2]. Точность выставления шага определяется качеством механической обработки ротора и статора электродвигателя. Производители современных шаговых электродвигателей гарантируют точность выставления шага без нагрузки до 5 % от величины шага.

Дискретность шага создаёт существенные вибрации, которые в ряде случаев могут приводить к снижению крутящего момента и возбуждению механических резонансов в системе. Уровень вибраций удаётся снижать при использовании режима дробления шага или при увеличении количества фаз.

Режим дробления шага (микрошаг) реализуется при независимом управлении током обмоток шагового электродвигателя. Управляя соотношением токов в обмотках можно зафиксировать ротор в промежуточном положении между шагами. Таким образом можно повысить плавность вращения ротора и добиться высокой точности позиционирования. Качество изготовления современных шаговых двигателей позволяет повысить точность позиционирования в 10-20 раз [2].

Шаговые двигатели стандартизованы национальной ассоциацией производителей электрооборудования (NEMA) по посадочным размерам и размеру фланца [2]. Данные стандартных шаговых двигателей указаны в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики стандартных шаговых двигателей [2]

Тип двигателя	Размер фланца, мм	Крутящий момент, Н·м
NEMA 17	42	0,12
NEMA 23	57	0,3
NEMA 34	86	1,2
	110	2,1

Однако при незначительных перемещениях исполнительного органа возможен индукционный нагрев статора, что отрицательно сказывается на точности и долговечности двигателя. Снизить нагрев можно путем применения вместо цельного статора и ротора

набранные из взаимно изолированных пластин, что уменьшит нагрев путем уменьшения вихревых токов. Такие статор и ротор представлены на рис. 2 и 3.

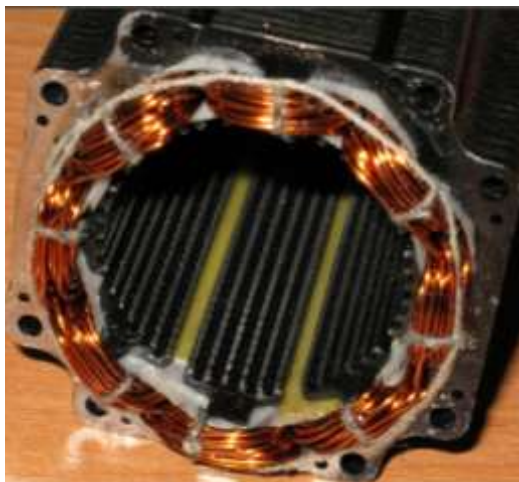


Рис.2. Статор шагового двигателя

Рис. 3. Ротор шагового двигателя

Шаговые двигатели создают сравнительно высокий момент при низких скоростях вращения. Момент существенно падает при увеличении скорости вращения. Однако динамические характеристики двигателя могут быть существенно улучшены при использовании драйверов со стабилизацией тока на основе ШИМ [2].

Шаговые электродвигатели применяются в приводах машин и механизмов, работающих в старт-стопном режиме, или в приводах непрерывного движения, где управляющее воздействие задаётся последовательностью электрических импульсов, например, в станках с ЧПУ. В отличие от сервоприводов, шаговые приводы позволяют получать точное позиционирование без использования обратной связи от датчиков углового положения [2].

Преимущества и недостатки шаговых двигателей

Преимущества

Главное преимущество шаговых приводов – точность. При подаче потенциалов на обмотки шаговый двигатель повернётся строго на определённый угол. К положительным сторонам можно отнести стоимость шаговых приводов, в среднем в 1,5-2 раза дешевле сервоприводов [3]. Шаговый привод, как недорогая альтернатива сервоприводу, наилучшим образом подходит для автоматизации отдельных узлов и систем, где не требуется высокая динамика.

Недостатки

Возможность «проскальзывания» ротора – наиболее известная проблема этих двигателей. Это может произойти при превышении нагрузки на валу, при некорректной настройке управляющей программы (например, ускорение старта или торможения не адекватно перемещаемой массе), при приближении скорости вращения к резонансной. Наличие датчика позволяет обнаружить проблему, но автоматически скомпенсировать её без остановки производственной программы возможно только в очень редких случаях [3]. Чтобы избежать проскальзывания ротора, как один из способов, можно увеличить мощ-

ность двигателя. Кроме того, при медленном вращении ротора создается возможность его перегрева.

Дискретный (шаговый) привод подачи

Привод подач с шаговым двигателем можно разделить на группы: привод с силовым ШД, соединенным через кинематическую цепь с исполнительным механизмом; привод с управляющим ШД и промежуточным усилителем момента, выполненным в виде автономной следящей системы (обычно гидравлической); привод с линейным ШД. В первой и третьей группе динамические и статические характеристики привода определяются параметрами ШД, во второй – зависят от параметров следящей системы, которой управляет ШД. Преимущества шагового привода по сравнению со следящим приводом имеют значение лишь при малых мощностях приводов. К таким преимуществам относятся отсутствие датчика обратной связи по пути и тахогенератора, а также отсутствие коллектора со щетками. Именно это обусловило применение ШД в приводе подач малых токарных и шлифовальных станков, а также для управления различными вспомогательными механизмами (поворот и смещение планшуппоров, резцедержателей и т. п.) станков и гибких производственных модулей. Современные быстродействующие ШД являются модифицированными синхронными электрическими машинами, обмотки которых возбуждаются несинусоидальными сигналами, т. е. прямоугольными или ступенчатыми импульсами напряжения с изменяющейся в широких пределах частотой. Ступенчатому характеру напряжений на фазах ШД соответствует дискретное вращение электромагнитного поля в воздушном зазоре двигателя. Вследствие этого движение ротора на низкой частоте складывается из последовательности элементарных перемещений, совершаемых по аperiodическому или колебательному закону. При возрастании управляющей частоты неравномерность частоты вращения ротора ШД сглаживается [2].

Шаговые двигатели с электронным коммутатором осуществляют преобразование последовательности управляющих импульсов (унитарного кода) в угол поворота вала. Каждому импульсу управления соответствует поворот вала на фиксированный угол (шаг двигателя), величина которого однозначно определена конструкцией ШД и способом переключения его обмоток. Частота вращения и суммарный угол поворота вала пропорциональны частоте и числу поданных импульсов управления соответственно. В отличие от синхронных двигателей в ШД переход в синхронное движение из состояния покоя осуществляется без скольжения, а торможение – без выбега ротора. Благодаря этому ШД (в рабочем диапазоне частот) обеспечивают внезапный пуск, остановку и реверсирование без потери информации, т. е. без пропуска. Шаговые приводы позволяют существенно снизить общую стоимость станка и поэтому их устанавливают в самых простых, маленьких станках. Отдельную нишу в машиностроении занимают приводы с линейными ШД (рис. 4).

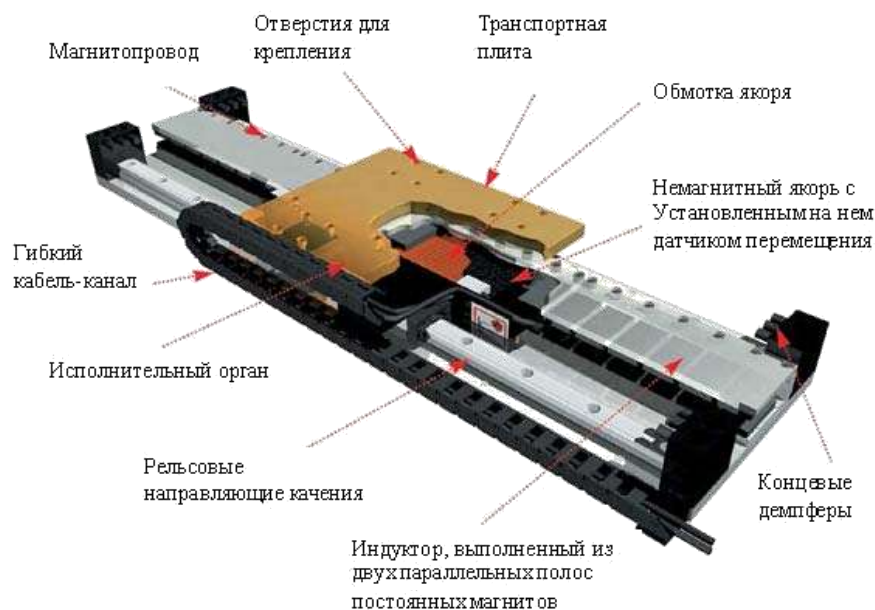


Рис. 4. Линейный шаговый двигатель

Привод с линейным ШД включает в себя первичную часть, представляющую собой статор, и вторичную часть – основание с наклеенными редкоземельными магнитами. Рабочий зазор между первичной и вторичной частями составляет 0,3 мм. В процессе работы на первичную часть подаются управляющие импульсы электрического тока, периодически изменяя намагниченность полюсов статора, которые, взаимодействуя с магнитами вторичной части, вызывают ее линейное смещение в заданном направлении. При этом осуществляется преобразование электрических импульсов в непосредственно линейное перемещение исполнительного органа. Такой привод имеет следующие преимущества по сравнению с классическим, построенным с использованием шарико-винтовых пар [2]:

- повышенная динамика и наивысшая скорость перемещения (до 500 м/мин);
- высокая точность;
- простой монтаж;
- повышенная износостойкость привода благодаря бесконтактной передаче усилия.

Существенным преимуществом линейной техники прямых приводов является практическое отсутствие эффектов эластичности, люфта и трения, а также собственной вибрации в трансмиссии [2]. Следствием этого является высокая динамика и высокая точность. При использовании соответствующей измерительной системы и соответствующих температурных условий двигателя могут позиционироваться с нанометрической точностью.

Несмотря на все преимущества, привод на основе линейных ШД на данный момент имеет ряд недостатков, сдерживающих его применение:

- ограниченная нагрузочная способность (усилие подачи до 14 кН);
- отсутствие самоторможения при снятии питающего напряжения;
- невысокий КПД;
- высокая стоимость.

Вследствие всего перечисленного линейные ШД нашли применение в следующих областях машиностроительного производства [2]:

- фрезерование;
- шлифование;
- ультрапрецизионная обработка (деталей станков класса С и А);
- электроэрозионная обработка;

– лазерная обработка.

Выводы

Шаговые электродвигатели целесообразно использовать для точного движения формообразующих механизмов станка при высокой скорости перемещения последних. Если скорость незначительная, то следует применять такие двигатели не с цельно выполненным ротором, а с набранным из взаимно изолированных пластин, что уменьшает нагрев путем значительного уменьшения вихревых токов.

Список литературы:

1. Википедия [Электронный ресурс] – режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D0%B0%D0%B3%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B9_%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C, свободный.
2. Инновационный центр высоких технологий в машиностроении [Электронный ресурс] – режим доступа: http://icvt.tu-bryansk.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=26:22-&catid=8:-2, свободный.
3. Управление шаговыми двигателями [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.stepmotors.ru/theory/01/2.htm> свободный.

ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ

Гудым Ю.В., Приходько Т.В., Слабун Е.В. (Дон ВПМУ, г.Донецк ДНР)

E-mail: donvpmu.67@bk.ru

Аннотация. В статье приведены и описаны современные инновационные методы обработки и тенденции расширения технологических возможностей металлообработки. Отмечены преимущества и недостатки различных видов инновационных методов обработки.

Ключевые слова: обработка, инновация, технология.

Введение

В машиностроительной отрасли на любом этапе производства используются высокие технологии. Это означает, что инновационные решения в машиностроении востребованы практически постоянно. Развитие технологий требует постоянного капиталовложения, что в свою очередь возвращается высокими дивидендами для инвестора. Основными инновационными направлениями в машиностроении являются: развитие и совершенствование технологий производства, увеличение прочности и качества материалов, использование принципиально новых технологических решений.

Машиностроение включает в себя инновационные решения в самых различных направлениях – инновации в механике, энергетике и других направлениях.

Инвестиции в машиностроительные инновации как правило в дальнейшем приносят солидный доход в связи с широким спектром применения новых технологий. Также в перспективе новые технологии данной отрасли с успехом применяются в автомобилестроении, авиастроении, кораблестроении и других самых разных направлениях хозяйственной деятельности.

Обработка металла в настоящее время классифицируется по видам и методам. Причем, в основе большинства видов лежит механический метод (точение, растачивание, фрезерование, сверление, шлифование, полирование и пр.). Главным их недостатком является большое количество образующейся металлической стружки, угара, опилок. Есть и более экономный метод обработки металлов – штамповка.

За последние годы возможности металлообработки значительно расширились, появились электрохимические (электроэрозионный и ультразвуковой) и электрофизические методы обработки, которые далее будут рассмотрены более подробно.

Электроэрозионная обработка. Ни для кого не секрет, что такой атмосферный электрический разряд, как молния, способен произвести колоссальное разрушительное действие. Однако далеко не каждый знает, что небольшие электроразряды успешно применяются в промышленности, помогая создавать из металлических болванок сложнейшие по конфигурации детали.

Электроэрозионная обработка (ЭЭО) широко применяется для изменения размеров металлических изделий - для получения отверстий различной формы, фасонных полостей, профильных канавок и пазов в деталях из твердых сплавов, для упрочнения инструмента, для электропечатания, шлифования, резки и др.

Схема электроэрозионной обработки материалов приведена на (рис. 1). Схема запитывается импульсным напряжением разной полярности, что соответствует электроискровому режиму 1р и электроимпульсному режиму 2р. Напряжение питания заряжает конденсатор 4, параллельно которому включен разрядный промежуток между электродом-инструментом 1 и обрабатываемой деталью 2, которые помещены в жидкость с низкой диэлектрической проницаемостью. Когда напряжение на конденсаторе превысит по-

тенциал зажигания разряда, происходит пробой жидкости. Жидкость нагревается до температуры кипения и образуется газовый пузырь из паров жидкости. Далее электрический разряд развивается в газовой среде, что приводит к интенсивному локальному разогреванию детали, приповерхностные слои материала плавятся и продукты расплава в виде шариков застывают в проточной жидкости и выносятся из зоны обработки.

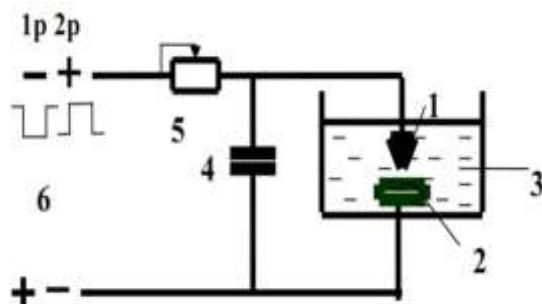


Рис. 1. Схема электроэрозионной обработки материалов: 1 - электрод-инструмент, 2 - обрабатываемая деталь, 3 - среда, в которой производится разряд, 4 - конденсатор, 5 - реостат, 6 - источник питания, 1р - режим электроискровой обработки, 2р - режим электроимпульсной обработки [1].

Быстрое развитие и широкая популяризация электроэрозионной обработки металлов в машиностроении, а также в других отраслях промышленности обуславливаются следующими достоинствами метода:

- обеспечивается обработка любых токопроводящих материалов независимо от их физико-химических свойств, твердости, вязкости и хрупкости;

- отпадает необходимость использования режущего инструмента или абразива с более высокими механическими характеристиками чем у обрабатываемых материалов, что позволяет экономить высоколегированные инструментальные стали, твердые сплавы и абразивный материал;

- обеспечивается обработка заготовки одновременно по всей сложной поверхности за счет простого поступательного перемещения ЭИ, который имеет на торце необходимый профиль обрабатываемой поверхности;

- появляется возможность разрезания по двум координатам с минимальной шириной реза (десятые и сотые доли мм) дорогостоящих сплавов и материалов;

- обеспечивается обработка глубоких отверстий и щелей, в том числе с переменным сечением по оси;

- создается возможность выполнения местных технологических операций на деталях больших размеров без установки их на специальные крупногабаритные станки, сокращается количество переходов при выполнении сложных технологических операций;

- обеспечивается возможность одновременного обслуживания одним оператором нескольких станков, так как электроэрозионные станки, как правило, являются станками-полуавтоматами и автоматами;

- операции практически выполняются без силового воздействия инструмента на заготовку, что позволяет обрабатывать поверхности нежестких и тонкостенных деталей;

- легко выполняется управление широким диапазоном электрических режимов, обеспечивающих получение высокой точности при максимальной производительности обработки, а так же позволяющих легко автоматизировать процесс управления;

- один и тот же инструмент может быть использован для чистовой, а затем и для черновой операции.

Одновременно с отмеченными достоинствами электроэрозионный метод имеет некоторые недостатки. Так при обработке деталей на чистовых режимах производительность обработки невысока и в этом случае имеет место большой удельный расход электроэнергии. Необходимость применения рабочей жидкости с высокими диэлектри-

ческими свойствами, в среде которой проводится обработка, усложняется конструкция станка и затрудняется его обслуживание. Точность обработки и чистота обработанной поверхности при ЭЭО зависят от многих факторов, учет которых не всегда возможен. В процессе обработки электрод инструмент значительно изнашивается, а аналитических зависимостей учитывающих все многообразие факторов для расчета размеров ЭИ пока не получено.

Анализируя перечисленные достоинства и недостатки, можно сделать вывод о том, что преимущества электроэрозионного метода обработки металлов проявляются особенно заметно при изготовлении деталей сложной формы из трудно обрабатываемых сталей и сплавов [1].

Ультразвуковая обработка является одним из методов механического воздействия на материал, использующий электрический ток. Ультразвук представляет собой механические упругие колебания, которые могут распространяться только в упругой среде, в отличие от электромагнитных колебаний. Скорость распространения звуковой волны зависит от плотности среды, в которой движется волна: чем жестче и легче материал среды, тем скорость волны больше.

Принципиальная схема ультразвуковой размерной обработки прошиванием (долблением) показана на рис. 2. При данном методе обработки осуществляется направленное разрушение твердых и хрупких материалов с помощью инструмента 3, колеблющегося с ультразвуковой частотой. В этом процессе он оказывает на обрабатываемую поверхность 1 ударное воздействие, которое достигается посредством мельчайших зерен абразивного порошка 9, вводимого в виде суспензии в зазор 8 между торцом инструмента и изделием.

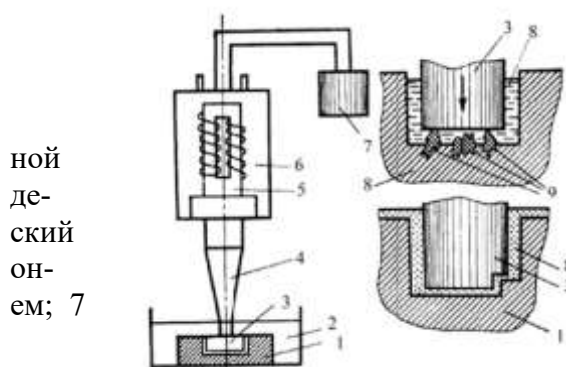


Рис. 2. Схема ультразвуковой размерной обработки прошиванием: 1 - обрабатываемая деталь; 2 - ванна; 3 - инструмент; 4 - акустический трансформатор скорости; 5 - магнитострикционный преобразователь; 6 - корпус с охлаждением; 7 - ультразвуковой генератор; 8 - зазор; 9 - частицы абразива [2].

К преимуществам ультразвуковой обработки следует отнести: возможность получения ультразвука различными техническими приемами; широкий диапазон технологического применения ультразвука (размерная обработка, сварка, пайка и др.); простоту эксплуатации промышленных установок. К недостаткам этого метода относят необходимость изготовления специальных генераторов ультразвуковых колебаний.

Электромагнитное поле может не только оказывать механическое воздействие на окружающие его объекты, но и изменять их положение в пространстве. Технологические процессы, использующие это явление, называются «электронно-ионными». С ними предстоит знакомство в следующей главе.

Недостаток ультразвукового способа обработки - существенное уменьшение производительности процесса по мере увеличения глубины обработки. Важно сказать, что для объяснения такого явления используется два предположения. Согласно первому, при увеличении боковой поверхности рабочего инструмента, контактирующей с обрабатываемым материалом, амплитуда колебаний инструмента уменьшается, а уменьшение амплитуды приводит к снижению производительности. Это предположение до настоящего вре-

мени не получило четкого экспериментального подтверждения. При использовании сплошных инструментов и достаточном запасе мощности применяемых генераторов (что было ранее) рассматриваемое предположение не подтверждается экспериментально. При всём этом, при использовании трубчатых инструментов с тонкой стенкой в комплекте с маломощными генераторами амплитуда колебаний инструмента уменьшается и скорость обработки падает [2].

Электрохимическая обработка (ЭХО). Электролиз получил широкое распространение в промышленности, поскольку с его помощью выполняются следующие процессы: создание металлических слепков; нанесение на металлические поверхности как защитных, так и декоративных покрытий; очистка металлов; получение тяжеловодородной воды; производство хлора и пр.

Новой областью применения электролиза в промышленности стала размерная электрохимическая обработка металла. Действие данного метода основано на растворении металлов в растворах солей при воздействии электрического тока.

Используя электролиз, появляется возможность быстро, особенно, если сравнивать с механической металлообработкой, разрезать болванки, выполнять отверстия и разнообразные по форме пазы, изготавливать сложные детали, затачивать инструмент.

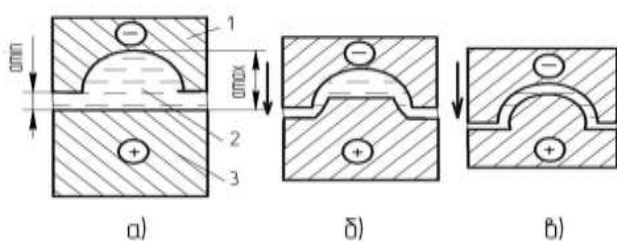


Рис. 3. Схема размерной электрохимической обработки с одним перемещающимся электродом-инструментом: 1-электрод инструмент, 2- электролит, 3- заготовка-анод [3].

Соответственно этому анодное растворение металла на участках с минимальным значением межэлектродного промежутка будет протекать в начальной стадии обработки более интенсивно, чем на участках с большими значениями межэлектродного промежутка. Таким образом, особенностью размерной электрохимической обработки является неодинаковая скорость растворения металла обрабатываемой заготовки на участках с различными значениями межэлектродного промежутка. В связи с этим на все участки обрабатываемой заготовки, включая и участки с максимальным межэлектродным промежутком, назначают определенные припуски на обработку в зависимости от скорости растворения. Схема размерной электрохимической обработки с одним перемещающимся электродом-инструментом изображена на рис. 3. Электрод инструмент, рабочий профиль которого имеет форму, соответствующую форме окончательно обработанной детали или ее части, перемещается с определенной скоростью к неподвижно установленной заготовке-аноду в направлении, показанном на рис. 3 стрелками. По мере растворения металла заготовки в основном на участках с минимальными значениями межэлектродного промежутка и перемещения на соответствующую величину электрода инструмента обрабатываемая поверхность принимает форму обрабатывающей поверхности электрода-инструмента (рис. 3, б, в).

Главные преимущества электрохимического метода: в процессе обработки инструмент, в роли которого выступает катод, не подвергается износу; можно обрабатывать любые металлические заготовки, независимо от механических свойств.

Недостатки электрохимической обработки прежде всего следует отметить, что перенесение формы инструментального электрода на деталь с высокой точностью связано с достаточно большими трудностями. Это вызвано тем, что точное ограничение электрохи-

мического воздействия на деталь в границах подлежащего обработке участка сильно затруднено. Некоторая часть металла растворяется в прилегающих к этому участку зонах.

Установки ЭХО имеют такую же, если не более высокую, стоимость, что и металлообрабатывающие станки, кроме того, они требуют большего рабочего пространства.

Электролит оказывает вредное действие на оборудование, и, кроме того, возникают экологические проблемы, связанные с утилизацией отработанных материалов [3], [4].

Выводы

Таким образом, можно сказать что, инновационные методы обработки машиностроения должны развиваться в направлении массового применения передовых технологий, которые обеспечат переход на качественно новый уровень промышленного производства. Массовое внедрение технологий и оборудования нового поколения позволит достичь такого уровня ресурсосбережения и качества выпускаемой продукции, которые будут способствовать максимальному импортозамещению и повысят уровень конкурентоспособности продукции машиностроения на внешнем рынке.

Список литературы: 1. Лившиц А.Л. Электроэрозионная обработка металлов. Москва, "Высшая школа", 1979 2. Абрамов О.В., Хорбенко И.Г., Швигла Ш. Ультразвуковая обработка материалов. М., Машиностроение 1984. 3. Артамонов Б.А., Волков Ю.С. и др. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. Москва, "Высшая школа", 1983 4. Справочник по электрохимическим и электрофизическим методам обработки. Под ред. Волосатова В.А. Ленинград, "Машиностроение", 1988

МЕТАМАТЕРИАЛ – «ДИОД» ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Кот Д.А. Киселева И.В. (кафедра МСМО, ДонНТУ, г. Донецк)

Аннотация: *Статья посвящена описанию структуры и свойств новых метаматериалов, имеющих различные свойства в разных направлениях, и перспективам их использования.*

Ключевые слова: *метаматериал, передача энергии, эволюция метаматериалов.*

Большинство процессов в природе обычно одинаково хорошо протекают как в одну, так и в другую сторону. К примеру, если из точки А можно передать лазером сигнал в точку Б, то аналогично тем же лазером можно передать и обратный сигнал. В механике можно обнаружить сходную ситуацию – если под действием нагрузки к точке А системы сместилась точка Б, то аналогичное воздействие на точку Б сместит точку А.

Однако, в ряде случаев взаимность этих процессов может быть нарушена. Например, работа диода в электрической цепи препятствует протеканию тока в одном из направлений. Схожие устройства существуют при передаче акустических и оптических волн. Но до сих пор все эти разработки относились к динамическим процессам — поля соответствующих сил в ходе эксперимента меняются со временем.

Лейденских физиков Анн Миуссен и Джейсон Паулюс заинтересовала возможность и создания нового материала, который проявлял бы различные механические свойства в различных направлениях при воздействии статических нагрузок.

По словам ученых, на создание нового метаматериала их вдохновила работа об электронных топологических изоляторах (отмеченная Нобелевской премией по физике за 2016 год Майкл Костерлиц, Дэйвид Таулесс и Данка Холдейн), которые обеспечивают электропроводность на поверхности, но изолированы изнутри. Однако, вместо электрических свойств Анн Миуссен и Джейсон Паулюс обратили внимание на механические свойства — жесткость и подвижность, и фактически получили механический аналог нобелевского топологического изолятора.

Летом 2016-го года ими был создан новый метаматериал из шестеренок, который допускает подвижность с одной стороны, но жестко зафиксирован с другой (рис.1). Полученную конструкцию можно «смять» с одной стороны, в то время как внутри и с другой стороны она сохраняет жесткость. Причем эти свойства сохраняются даже при наличии производственных дефектов компонентов системы.

Если две шестеренки соединить друг с другом, то вращение одной из них по часовой стрелке будет вызывать вращение другой в противоположном направлении. Но если к ним добавить еще одну шестеренку, то полученная система станет неподвижной – шестеренки не смогут вращаться ни в одном направлении.

Механические системы с похожими свойствами рассматривались и раньше, однако, они были неустойчивыми к внешним воздействиям. В отличие от них, структура из шестеренок, состоящая из шестигранных ячеек, оказалась стабильна: степени свободы вращения и сдвига каждого узла обеспечивают систему топологическими характеристиками, которые допускают деформацию только с одной стороны решетки.

В начале 2017-го года физики из Института AMOLF (Нидерланды) и Университета Техаса (Корентин Куле, Димитриос Соунас и Андре Алу) создали механический метаматериал, который способен смещаться под действием механических нагрузок только в одну сторону и блокировать смещение в другую сторону.

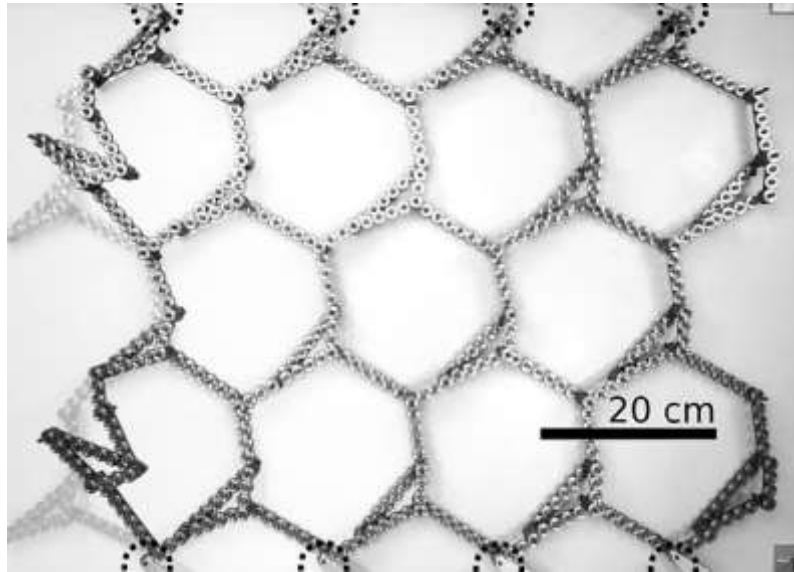


Рис. 1. Метаматериал из шестеренок

Это один из первых примеров системы, которая нарушает взаимность механических процессов при статических нагрузках. Авторы предполагают, что такие материалы могут применять при поглощении механической энергии от удара или других сил.

Эта разработка относится к средам, в которых свойства определяются в первую очередь определенной структурой, а не химическим строением. Первый материал представлял собой форму скелета рыбы, изготовленного из резины (рис. 2).

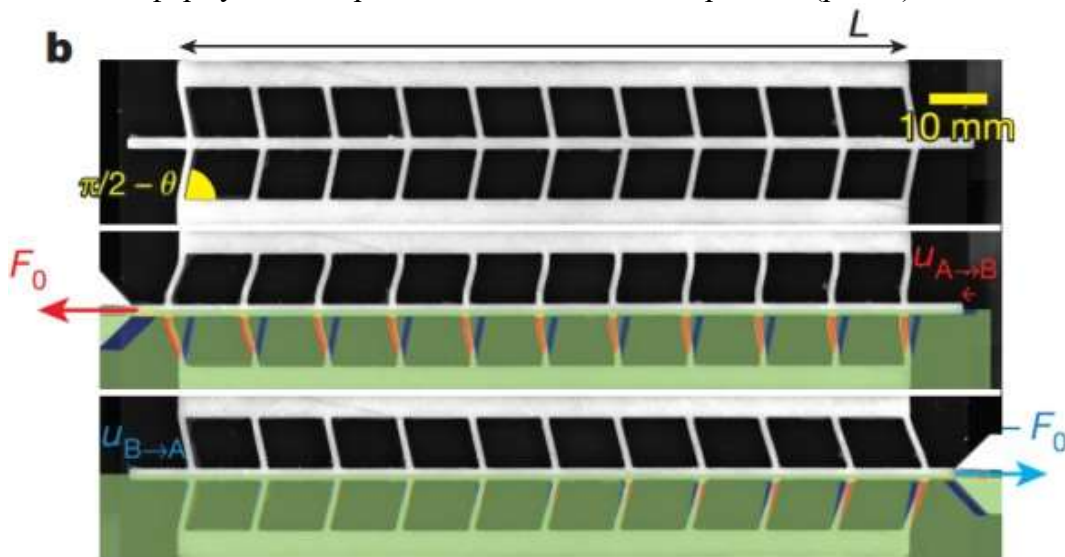


Рис. 2. Метаматериал – «скелет рыбы»

Все сегменты, «ребра», крепились одной стороной к «позвоночнику», другой – к неподвижным боковым полосам. Ключевым для свойств материала было то, что «ребра» крепились к «позвоночнику» не перпендикулярно, а под углом. Когда ученые тянули за «позвоночник» с той стороны, куда были «выгнуты» ребра, материал лишь испытывал малую деформацию. В ситуации, когда напряжение прикладывали к другому концу «позвоночника», ребра выгибались – смещение материала в целом оказывалось значительно большим по сравнению с первым случаем. Такой метаматериал можно назвать одномерным.

На основе этого материала физики создали подобный материал. По своему виду он напоминает несколько распечатанных на 3D-принтере и склеенных между собой ромбов и квадратов (рис. 3). Как отмечают авторы, в данном материале разница между механическими свойствами в прямом и обратном направлении еще больше. «Материал в целом ведет себя асимметрично – с одной стороны он очень мягкий, с другой — очень жесткий» – описывает конструкцию Димитриос Соунас, соавтор работы. Напряжение, прикладываемое с мягкой стороны, заставляет квадраты легко крутиться, в результате противоположная сторона почти не смещается. Давление на твердую сторону, наоборот, приводит к сильному смещению мягкой стороны.

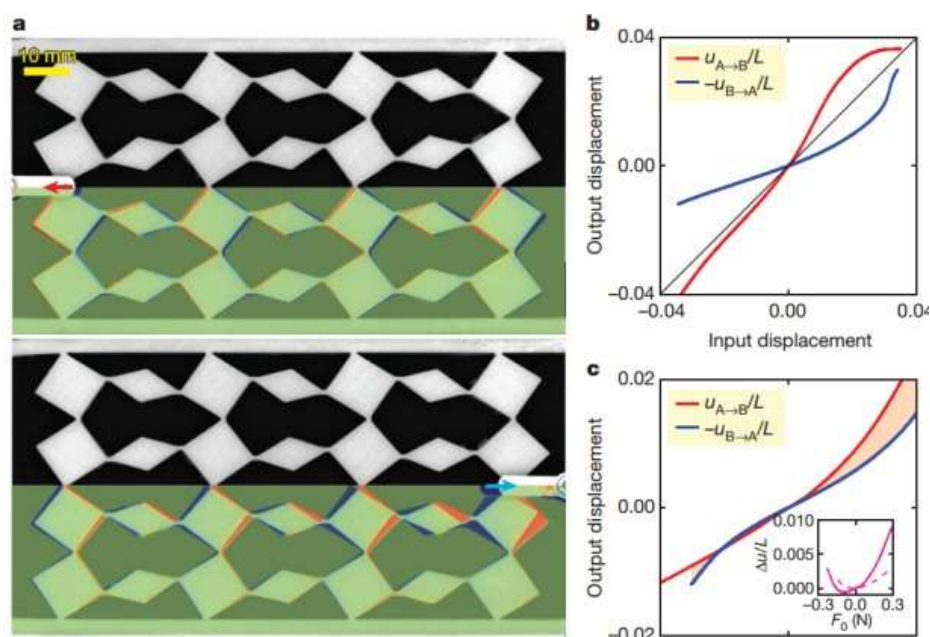


Рис. 3. Двумерный метаматериал и его механические свойства (отклик на сжатие)

Описанные материалы пока находятся в стадии разработки, но ученые пророчат им большое будущее. Среди возможных применений материалов можно назвать эластичные элементы для робототехники, протезирования и накопления энергии. Кроме того, подобные среды могут эффективно подавлять вибрации или механическую энергию от столкновений что может пригодиться в машиностроении.

Список литературы: 1. Электронный научно-популярный журнал N+1 [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://nplus1.ru/news/2017/02/15/mechanical-metamaterial>. **2.** Многопредмет. науч. журн Nature [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://www.nature.com/nature/journal/v542/n7642/full/nature21044.html>. **3.** Электронный научно-популярный журнал N+1 [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://nplus1.ru/news/2016/11/28/gearbasedmetamaterial>. **4.** Физико-технический журнал Physical review X [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://journals.aps.org/prx/abstract/10.1103/PhysRevX.6.041029>. **5.** Многопредметный научный журнал IOP Science [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0034-4885/78/7/073901/meta>.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ АЛМАЗНЫХ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ

Лазарев Д.С., Гусев В.В. (кафедра МСМО, ДонНТУ, г. Донецк,)

Аннотация. В статье проанализированы методы правки алмазных шлифовальных кругов. Наибольшей производительностью обладает метод правки свободным абразивом.

Ключевые слова: шлифование, правка, алмазный шлифовальный круг, свободный абразив.

Введение

В настоящее время наиболее эффективным методом обработки деталей из труднообрабатываемых металлов является шлифование алмазными шлифовальными кругами. Применение алмазных шлифовальных кругов обеспечивает значительный рост производительности труда, снижение затрат и повышение эффективности производства при достижении высоких эксплуатационных свойств обработанных поверхностей [1].

Главные показатели работы алмазных шлифовальных кругов — необходимые точность и качество поверхности шлифования при высокой производительности, определяемой съемом материала. Между тем эти параметры не остаются постоянными в процессе шлифования, так как происходит изменение режущих свойств круга. Зерна шлифовального круга, участвующие в работе, испытывают периодическое силовое, тепловое и химическое воздействие в момент контакта с обрабатываемой заготовкой. В результате этих явлений режущие кромки зерен истираются или скалываются, происходит вырывание целых зерен из связки круга. Неравномерный износ алмазного шлифовального круга приводит к искажению его формы, изменяются его режущие свойства. Вместе с тем, правка алмазных кругов является технологически сложной и трудоемкой операцией [2].

Цель работы и задачи исследования. На основе анализа методов правки алмазных шлифовальных кругов обосновать выбор способа правки алмазного шлифовального круга.

Основное содержание работы

Правка – процесс восстановления режущей способности шлифовального круга и правильной геометрической формы инструмента. Правке подвергается вновь устанавливаемые на станок инструменты и затупившиеся в процессе работы. На правку расходуется от 45% до 80% полезного объема шлифовального круга. Затраты на правку могут достигать до 40% штучного времени обработки и более. Методы правки кругов на металлической связке по характеру воздействия на рабочую поверхность круга (РПК) делятся на [3]:

- механические;
- химические;
- физические;
- комбинированные.

Связь между этими методами может быть представлена в виде следующей схемы (рис. 1).

Электрохимические методы воздействия на РПК применяются с использованием электрического тока и механического воздействия. Правка такими способами характеризуется высокой точностью, применима для кругов на металлической и металлоорганической связке. Сюда относится электролитическая правка с использованием обратной схемы

электролитического шлифования: круг – анод, а катод – деталь в виде пластины, трубы, круга (рис. 2) и химическое травление в растворе щелочей и кислот. Химическое травление эффективно очищает рабочую поверхность инструмента, но не восстанавливает ее необходимый профиль. Правку кругов из алмаза на металлической связке производят шлифованием кругами из зеленого карбида кремния или электроабразивной обработкой [4]. После травления для восстановления формы круга необходимо механическое воздействие на РПК.

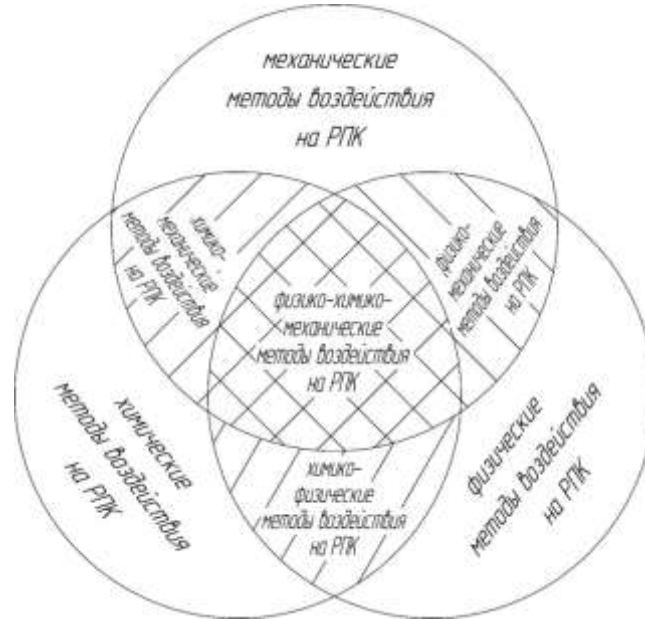


Рис. 1. Методы управляющих воздействий на РПК

Электрофизические методы воздействия на РПК, в частности правка электроэрозией (рис. 3), способны обеспечить необходимую точность. Для осуществления правки требуется правящий инструмент (электрод), достаточно простой в конструктивном исполнении. Суть метода состоит в испарении частиц связки круга с поверхности абразивного инструмента импульсным током [5].

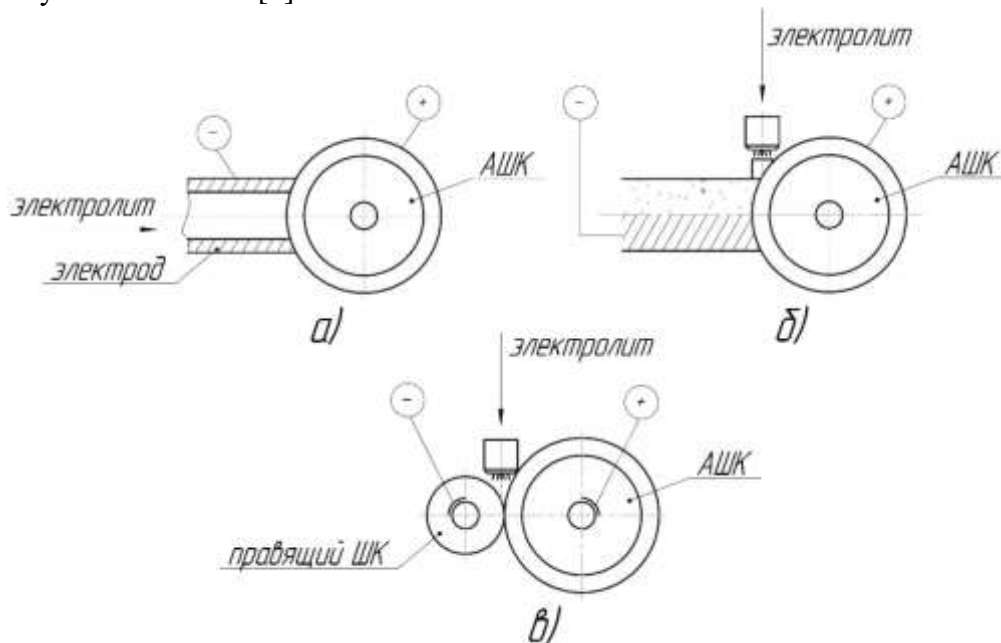


Рис. 2. Схема электрохимической правки: а) катод-труба; б) катод-пластина; в) катод-круг [4]

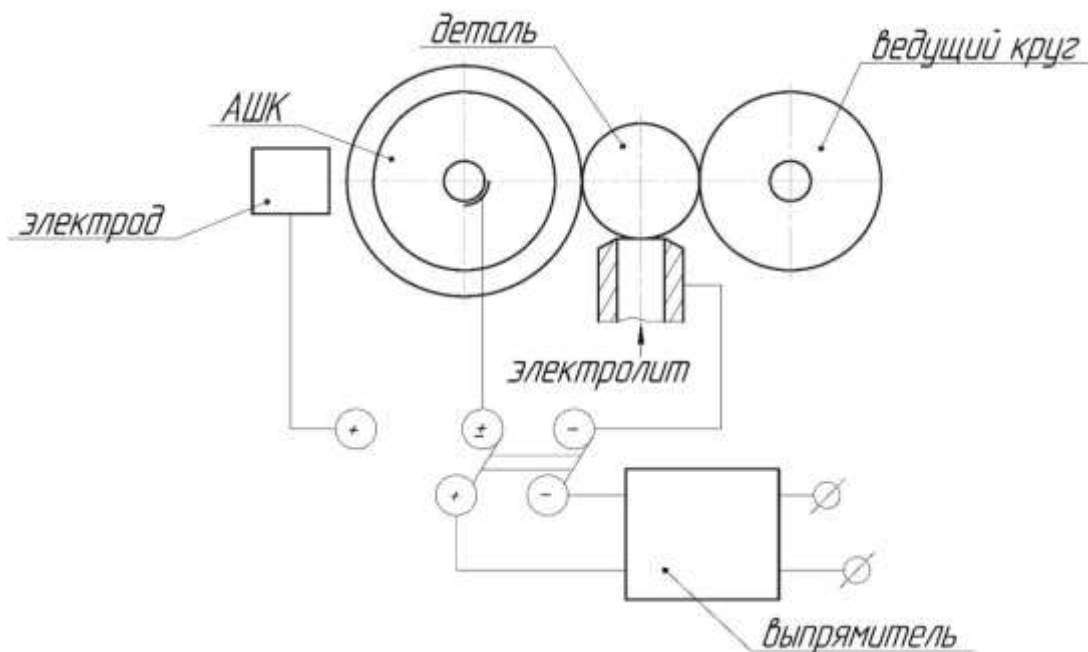


Рис. 3 Схема электроэрозионной правки [4]

Несмотря на достоинства физического и химического способов правки, необходимо отметить и присущие им недостатки [6]:

- необходимость модернизации существующего оборудования;
- сложная реализация в производственных условиях;
- большие энергозатраты;
- сложность при соблюдении правил техники безопасности в условиях повышенной влажности в зоне работы станочника;
- наличия электрических разрядов большой силы тока;
- невозможность использования этих способов для кругов на неметаллической связке.

Альтернативой электроэрозионному способу правки выступают многочисленные механические способы правки. Механическую правку кругов осуществляют различными методами:

- обтачиванием режущей поверхности правящими инструментами из сверхтвердых материалов (алмазами в оправках, алмазными иглами, алмазными карандашами);
- шлифованием режущей поверхности правящими кругами;
- правка свободным абразивом.

Все эти способы направлены на исправление геометрии инструмента, который подвергается правке, и создание необходимого микропрофиля рабочей поверхности круга РПК. Из перечисленных способов правки шлифовальных кругов видно, что их существует довольно большое количество. Наиболее простым и эффективным управляющим воздействием является разновидность механического метода, к которому относится правка свободным абразивом. Этот метод отличается, по сравнению с другими механическими методами правки, более мягким воздействием на алмазные зерна круга и большей избирательностью воздействия на связку круга.

Правка свободным абразивом. При правке круга свободным абразивом через отверстие в притире подается суспензия, состоящая из абразивных зерен и связки. При вра-

щении шлифовального круга в зазор между кругом и притиром попадает абразив, который увлекается поверхностью круга и держит на расстоянии притир. В процессе перекатывания зерна свободного абразива в рабочей зоне и их шаржирования в притир связка удаляется, при этом за алмазным зерном образуются «подпорки».

Достоинства метода [7, 8]:

- производительность правки свободным абразивом в 2-3 раза выше, чем при правке другими механическими методами;
- затрата абразива в 6 раз ниже;
- позволяет интенсифицировать процесс с минимальной затратой абразивного материала.

К недостаткам можно отнести:

- необходимость в специальном устройстве для реализации;
- информации о назначении режимов правки для достижения наибольшей производительности процесса недостаточно;
- при обработке детали существует возможность ухудшения качества поверхности обрабатываемой детали при попадании на нее зерен абразива.

По такому принципу создано большое количество способов правки. Различие же в реализации различных способов правки свободным абразивом заключается в движениях притира и абразива, который используется для доставки правящего абразива в рабочую зону. Рассмотрим некоторые из таких способов.

По способу движения притира:

1. Исходным для всех способов правки свободным абразивом является способ с движущимся возвратно-поступательно притиром (рис. 4) [9].

Правка осуществляется следующим образом. К вращающемуся на рабочей скорости кругу (инструменту) 1 подводят до касания притир 2, продольная ось которого наклонена под углом в пределах от 20° до 60° к вектору скорости круга 1 в точке касания его с притиром. Притиру задают возвратно-поступательное движение вдоль образующей инструмента для формирования продольного профиля круга формы 1А1. В зону контакта инструмента и притира подают свободный абразив, который путем шаржирования в притире и перекатывания по поверхности контакта в направлении вектора скорости вышлифовывает материал притира и связки инструмента.

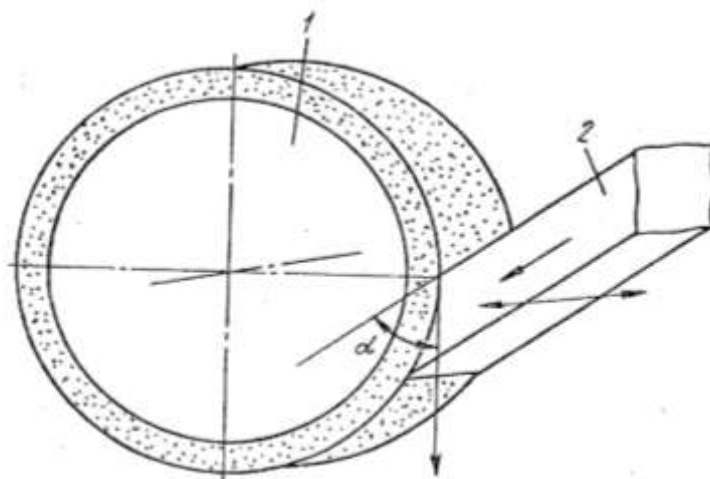


Рис. 4. Схема правки свободным абразивом с движущимся возвратно-поступательно притиром [9]

2. Способ правки свободным абразивом с вращающимся притиром (рис. 5) [10].

Способ правки шлифовальных кругов свободным абразивом, согласно которому свободный абразив подают в зазор между шлифовальным кругом и притиром, осуществляющим непрерывное движение в направлении по нормали к рабочей поверхности круга, отличающийся тем, что притиру дополнительно предоставляют вращательное движение вокруг оси, нормальной к рабочей поверхности и оси вращения шлифовального круга, причем наибольшую скорость притира выбирают не больше линейной скорости на рабочей поверхности шлифовального круга, и правку совершают вращающимся притиром с периодическими изменениями направления его вращения.

Преимуществами данного способа является:

- отсутствие на поверхности алмазного круга продольных рисок;
- улучшение характеристик РПК;
- равномерный износ притира.

К недостаткам можно отнести увеличенный расход свободного абразива.

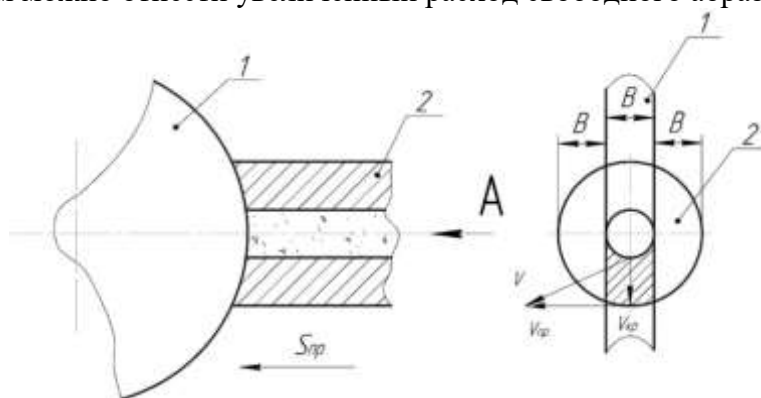


Рис. 5. Схема правки свободным абразивом с вращающимся притиром:
1 - шлифовальный круг; 2 – притир [10]

3. Способ правки свободным абразивом с дополнительным высокочастотным колебанием притира (рис. 6) [11].

Этот метод способ отличается тем, что притир дополнительно осуществляет высокочастотные колебания, направленные вдоль образующей шлифовального круга. Предоставление притиру дополнительных высокочастотных колебаний, направленных вдоль образующей шлифовального круга, заставляет зерна свободного абразива, которые шаржированные в притир, делать дополнительные движения сложной формы, устраняет (или хотя снижает к минимуму) возможность образования зернами свободного абразива кольцевых канавок на поверхности круга и, тем самым, улучшает характеристики его рабочей поверхности, что влияет на качество поверхностного слоя обрабатываемых деталей.

При высокочастотных колебаниях зерна свободного абразива за время пребывания их в зоне контакта притира и шлифовального круга описывают сложную кривую, продлевают рабочий путь по поверхности круга, следовательно, увеличивают производительность правки.

4. Способ правки свободным абразивом (рис. 7) [12].

При правке притир 1, установленный на каретке 2, движется по нормали к рабочей поверхности круга, подвергаемого правке. Каретка 2 приводится в движение механизмом 3 поперечного перемещения. Одновременно с подачей притира 1 осуществляется подача гибкой тонкостенной трубки 6 через цилиндрический канал направляющей 4. При этом трубка 6 сошлифовывается, а свободный абразив 7, находящийся в трубке 6, попадает в зазор между притиром 1 и кругом, подвергаемым правке. Зерна свободного абразива 7 захватываются кругом и перемещаются вместе с ним относительно притира 1. Одновремен-

но с этим происходит торможение зерен за счет их внедрения в притир 1, что приводит к вышлифовыванию связки круга.

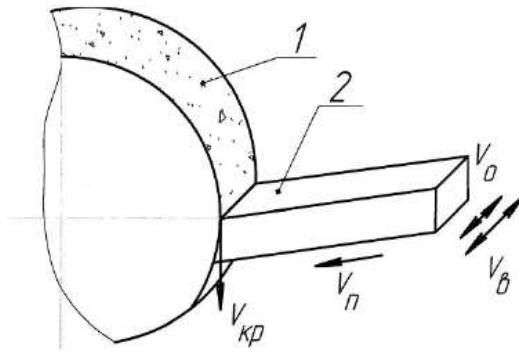


Рис. 6. Схема правки свободным абразивом с вращающимся притиром и дополнительным высокочастотным колебанием: $V_{кр}$ – линейная скорость шлифовального круга; V_n – скорость подачи притира; V_o – скорость возвратно-поступательного движения притира вдоль образующей шлифовального круга; V_e – скорость движения притира при его высокочастотных колебаниях; 1 – шлифовальный круг; 2 – притир [11]

Преимуществом данного устройства является повышения производительности правки, за счет смонтированной на станине направляющей с цилиндрическим каналом, в котором расположена трубка, заполненная свободным абразивом, и механизмом подачи трубки.

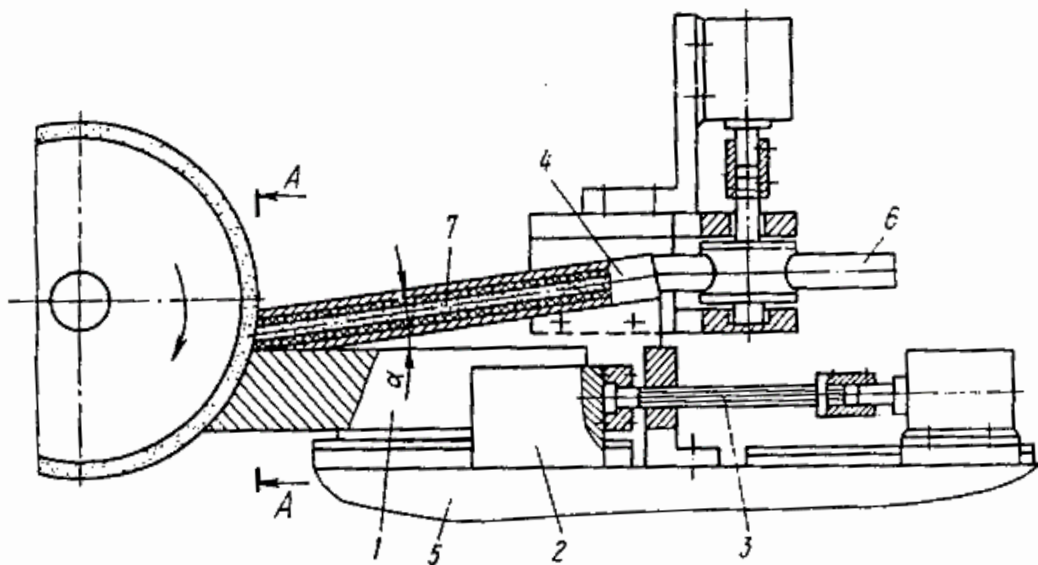


Рис. 7. Способ правки свободным абразивом [12]

В качестве связующего вещества для свободного абразива могут выступать:

- полусвязанные абразивные зерна в виде бруска;
- жидкая связка.

1. Полусвязанные абразивные зерна в виде бруска [13].

В зазор между шлифовальным кругом и притиром подают свободный абразив в виде бруска, который состоит из смеси абразивного порошка и связующего элемента (глина,

гипс, цемент, алебастр, эпоксидная смола). При правке брусок подают к шлифовальному кругу, который вращается. При этом зерна абразивной смеси, при разрушении бруска кругом, наносятся непосредственно на его рабочую поверхность.

Суть метода правки объясняется графиком зависимости граничной режущей способности шлифовального круга (РС), которая получена после правки от прочности бруска, которая определяется временным сопротивлением разрушению бруска при сжатии (Сигма) (рис. 8).

Достоинством этого метода является уменьшение количества потребления свободно абразива и улучшение режущей способности шлифовального круга.

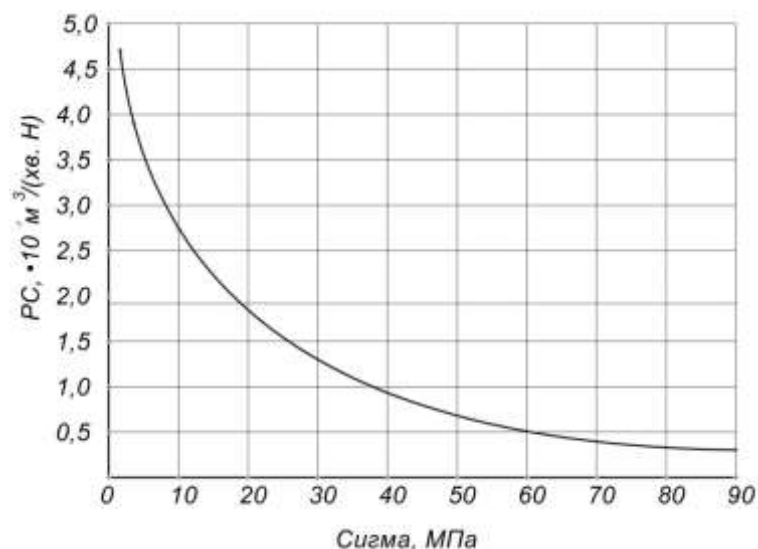


Рис. 8. Зависимость режущей способности шлифовального круга от сопротивления разрушения бруска при сжатии [14]

2. Жидкая связка [14].

В зазор между абразивным инструментом, который вращается, и притиром подается свободный абразив размером, который равен 0,6-0,9 размера зерен абразивного инструмента в виде суспензии, которая состоит с абразива, глины и жидкости.

Суспензию принимают при следующем отношении компонентов, %:

абразив	51,0-60,0
глина	20,0-25,0
жидкость	остальное

Преимуществом данного метода является повышение производительности правки и качество РПК. Недостаток – большой расход свободного абразива.

Выводы

1. Существует большое количество способов правки алмазных шлифовальных кругов. По методу воздействия на РПК они могут быть механические, физические, химические и комбинированные. Химические и физические эффективно очищают рабочую поверхность инструмента, но не восстанавливают ее необходимый профиль. Вследствие этого применяют чаще всего комбинированные методы, совмещающие физические и химические с механическими методами.

2. Механические методы правки направлены на исправление геометрии инструмента и создание необходимого микропрофиля рабочей поверхности круга РПК. Из всех ме-

ханических методов правки наиболее лучшим является правка свободным абразивом, так как обладает рядом преимуществ:

- избирательное воздействие на абразивные зерна и связку ШК;
- производительность в 2-3 раза выше, чем при правке другими механическими методами;
- затрата абразива в 6 раз ниже;
- позволяет интенсифицировать процесс с минимальной затратой абразивного материала.

3. Недостаточное количество информации о назначении режимов правки для достижения наибольшей производительности процесса правки свободным абразивом ставит перед нами задачу дальнейших исследований в этом направлении.

Список литературы:

1. Kramer D., Rehsteiner F., Schuhmacher B. ECD (Electrochemical In-Process Controlled Dressing), a New Method for Grinding of Modern High-Performance Cutting Materials to Highest Quality // *Cirp Annals - Manufacturing Technology*. 1999. Vol. 48, no 1. P. 265-268. DOI: 10.1016/S00078506(07)63180-1.
2. Попов, С.А. Шлифовальные работы / С. А. Попов. – М.: Высшая школа, 1987. 383 с.
3. Полтавец, В.В. Повышение степени управляемости технологической системой шлифования кругами из сверхтвердых материалов за счет воздействий на характеристики инструмента / В.В. Полтавец // *Наукові праці ДонНТУ. Серія Машинобудування і машинознавство*. Випуск 6 (154). Донецьк: ДонНТУ, 2009. – С.79-86.
4. Курдюков, В.И. Основы абразивной обработки: учебное пособие / В.И. Курдюков. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2014. – 195 с.
5. Шавва, М.А., Экспериментальная установка для алмазного шлифования с применением непрерывной электрохимической правки шлифовального круга / А.М. Шавва, Е.М. Захаревич; Научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. Наука и образование. Эл № ФС77 — 48211. Государственная регистрация № 421 200 025. ISSN 1994–0408. *Электронный научно-технический журнал*. 2014. – С.44-54.
6. Матюха, П.Г. Устройство для электроэрозионной правки кругов на металлической связке / П.Г. Матюха, В.П. Цокур // *Науч.-техн. реферативный сб. «Электрические и электрохимические методы обработки»*. – М.НИИМАШ. – 1981. – Вып. 8. – С.2-3.
7. Чачин, В.Н. Профилирование алмазных шлифовальных кругов / В.Н. Чачин, В.Д. Дорофеев. – Минск: Наука и техника, 1974. – 160 с.
8. Гусев, В.В. Закономерности изменения режущей способности алмазных шлифовальных кругов при правке свободным и полусвязанным абразивом / В.В. Гусев, А.Л. Медведев // *Наукові праці ДонНТУ. Серія Машинобудування і машинознавство*. Випуск 6 (154). Донецьк: ДонНТУ, 2009. – С.41-48.
9. А.с. 1839393 СССР. Способ правки абразивного инструмента / Бурмистров В.В., Байков А.В., Емельянов А.Н., Калафатова Л.П., Хроменко А.Д. // *Бюл.* – 1993. – № 47-48. – 2 с.
10. Пат. 97700Укр. Способ правки шлифовальных кругов свободным абразивом / Гусев В.В., Вяльцев Н.В., Молчанов А.Д., Медведев А.Л., Семенюк Д.Ю. // *Бюл.* – 2012. – № 5..
11. Пат. 96351Укр. Способ правки шлифовальных кругов свободным абразивом / Гусев В.В., Вяльцев Н.В., Молчанов А.Д., Медведев А.Л., Семенюк Д.Ю., Калафатова Л.П. // *Бюл.* – 2011. – № 20.
12. А.с.1668121 СССР. Способ правки абразивного инструмента / В.В. Бурмистров, А.Д. Хроменко, В.В. Машенко, Е.М. Сировский // *Бюл.* – 1991. – № 29. – 3 с.
13. Пат. 99526 Укр. Способ правки шлифовального круга / Гусев В.В., Вяльцев М.В., Молчанов А.Д., Медведев А.Л., Тупик А.Л., Калафатова Л.П. // *Бюл.* – 2012. – № 26.
14. Пат. 3838 Укр. Способ правки шлифовального инструмента / Калафатова Л.П., Шевченко В.А., Поезд С.А. // *Бюл.* – 2004. – № 12.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ ЗА СЧЕТ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ОБРАБОТКИ

Лукашук В.М., Сорока Л.В. (ДонВПУ, г. Донецк, ДНР)

***Аннотация.** В статье рассмотрены и описаны современные методы высокоскоростной обработки, отмечены преимущества и достоинства данного метода, рассмотрены требования к режущему инструменту и оборудованию, скорости обработки.*

***Ключевые слова:** высокоскоростная обработка, скорость резания, управляющая программа, режущий инструмент.*

Введение

Повышение эффективности механической обработки является важнейшей задачей современного машиностроения, достижение наиболее высокой производительности обработки с обеспечением качественного поверхностного слоя деталей. В настоящее время решение этой задачи может быть достигнуто за счет выбора наиболее современных методов обработки деталей, а также за счет обоснования оптимального уровня параметров обработки, обеспечивающих максимальную производительность.

Обеспечение качества поверхностного слоя является окончательным методом обработки поверхностей деталей, определяющих эксплуатационные свойства изделий в целом. Одним из методов качественной обработки является использование высокоскоростной обработки. В основе этого понятия лежит процесс резания, при котором действующие значения скоростей резания и подач в 5-10 раз выше, чем при обычной обработке [1].

Систематизируем особенности и технологические возможности высокоскоростной обработки.

Особенности и технологические возможности высокоскоростной обработки

Высокоскоростная обработка направлена на получение сложных форм поверхностей (поверхностная обработка, например гравюр штампов, деталей, имеющих поверхности отличные от примитивных – плоскостей, цилиндров).

Высокоскоростная обработка связана со структурными изменениями материала (из-за пластических деформаций, осуществляемых с большой скоростью) в месте отрыва стружки. При повышении скорости деформаций силы резания первоначально растут, а потом, с достижением определенной температуры в зоне образования стружки, начинают существенно снижаться. Время контакта режущей кромки с заготовкой и стружкой так мало, а скорость отрыва стружки столь высока, что большая часть тепла, образующегося в зоне резания, удаляется вместе со стружкой, а заготовка и инструмент не успевают нагреваться [2].

При лезвийной обработке материалов, которые образуют сливную стружку, у режущей кромки происходит пластическая деформация и резание материала, наблюдается процесс трения между стружкой и передней поверхностью инструмента, а также между поверхностью детали и задней поверхностью инструмента. При высокоскоростной обработке с возрастанием скорости резания коэффициент трения уменьшается. Это происходит вследствие размягчения обрабатываемого материала в зоне разреза, в некоторых случаях - до появления жидкого слоя [3].

Исследованиями доказано, что при правильно подобранных параметрах 75% произведенного тепла отводятся со стружкой, 20% - через инструмент и 5% через обрабатываемую заготовку.

Резюмируя сказанное, следует отметить ключевой принцип высокоскоростного метода обработки: наибольшее количество произведенного тепла отводится вместе со стружкой.

В условиях работы высокоскоростных режимов выдвигается ряд особых требований к режущему инструменту и оборудованию. Современные высокопроизводительные станки с числовым программным управлением (ЧПУ) позволяют перейти от научных гипотез к сфере непосредственно производства в сфере высокоскоростной обработки (ВСО). Простейшее определение ВСО - обработка при частоте вращения шпинделя выше 10 000 об/мин. Технология ВСО подразумевает большую скорость подачи и вращения при незначительных усилиях резания. Успешная высокоскоростная обработка является следствием удачно подобранных скоростей вращения, систем контроля шпинделя и инструмента с крайне высокой твердостью. В тоже время, обработка по "классическому" варианту подразумевает большую глубину резания и значительное усилие при обычной подаче [3].

Станок должен успевать работать за программой, то есть иметь возможность быстрого ускорения или замедления рабочей подачи. Желательно, чтобы станок отличался высокой жесткостью и был оснащен приспособлениями, обеспечивающими эффективное удаление стружки.

При составлении управляющей программы для режима высокоскоростной обработки значения подачи и глубины резания задаются меньше показателей режима обычной механической обработки. Траектория перемещения инструмента должна быть плавной, не допускается резкая смена скорости подачи.

Рабочая программа для высокоскоростной обработки содержит большое количество перемещений, ее объем может превосходить объем обычной обрабатываемой программы в десятки и в сотни раз.

Практика показала, что снизить объем программы, сделав её оптимальной для метода высокоскоростной обработки возможно путем различных программ оптимизаторов и фильтров.

Высокоскоростная обработка предъявляет определённые требования к инструменту и его качеству. Так, если при стандартном процессе дисбаланс инструмента в 0,005 мм был не заметен, то при ВСО такой же дисбаланс приводит к чрезвычайно быстрому износу инструмента вследствие повышенной вибрации. По этой же причине существуют ограничения на диаметр инструмента для ВСО (диаметр инструмента в этом случае не должен превышать 25 мм) [3].

Обычно, для операций ВСО (рис.1) используют инструмент на основе кубического нитрида бора, мелкодисперсных твердых сплавов, искусственных алмазов - т.е. материалов с довольно высокой твердостью. Такие материалы имеют довольно высокую стоимость, однако потребители, использующие технологию ВСО в своих технологических процессах и видящие её преимущество, готовы платить. Важнейшим параметром станка, который используется для ВСО, является возможность мониторинга нагрузки на оси и шпиндель. Это позволяет своевременно корректировать появляющиеся при обработке деформации и отклонения [4].

Сервопривод, получая информацию от соответствующего датчика на шпинделе, подстраивает подачу под реальные условия обработки. Без наличия такой системы процент бракованной продукции при ВСО будет достаточно велик.

ВСО зарождалась в качестве технологии для обработки алюминия и его сплавов (особенно в самолётостроении). Однако, с немного модернизированными режимами резания, эта технология перенеслась и для обработки остальных материалов, используемых в современной промышленности. Особый интерес к ВСО стал появляться в связи с возможностью обработки термически обработанных сталей, твердость которых высока. Поверхность заготовки локально не успевает нагреваться (тепло, образующееся при обра-

ботке в максимальной степени передаётся стружке), а значит термически упрочнённый слой заготовки не подвергается отпуску.

Хорошо обрабатываются методом ВСО тонкостенные детали (оболочкоподобные), ведь на высоких скоростях резания усилие на заготовку минимальное, она не пружинит, а режущий инструмент сохраняет заданную траекторию движения.



Рис.1. Высокоскоростная обработка металла [3]

Примечательно, что работа с некоторыми материалами, как оказалось, требует меньшей мощности резания, чем работа с алюминием. Активно метод ВСО внедряется при работе с композитными материалами: на передовых зарубежных промышленных площадках обрабатывают композитные детали, используемые в авиастроении. При этом припуск на деталях габаритом до нескольких метров составляет всего 0,3-0,4 мм при скорости вращения шпинделя порядка 25 000 об/мин. И это на тонкостенных деталях [3].

Очень перспективным направлением ВСО является работа с титаном и его сплавами. Такие свойства титана, как низкая теплопроводность, высокая упругость и твёрдость, делают этот материал очень неудобным в обработке. При механической обработке титана очень важна динамическая жёсткость обрабатывающей системы и контролируемые усилия резания. И тем не менее, обрабатывать титан методами ВСО получается со значительно меньшими общими затратами, чем при использовании стандартных технологий (титан - дорогостоящий материал, и существенное снижение брака в продукции крайне положительно сказывается на экономических показателях процесса).

Выводы

Таким образом, принципы ВСО позволяют промышленности выходить на новый уровень качества. При этом может наблюдаться даже производственная экономия, ведь

некоторые операции в технологии производства просто исключаются (соответственно, уменьшается риск возникновения дефектов в исключённых операциях).

ВСО явилось стимулятором для качественного развития обрабатывающей промышленности. Требования, которые предъявляются к такой обработке: контроль усилия резания, равномерность снимаемого слоя, заставляют производителей обрабатывающего оборудования совершенствовать выпускаемые изделия в техническом плане, выпускать всё более автоматизированные и интеллектуализированные образцы техники. В конечном итоге, будет достигнуто такое качество получаемых деталей, которое сделает ненужными последующие в технологическом цикле операции. Именно ВСО станет прорывом в удешевлении производственного процесса.

Список литературы: 1. Высокоскоростная обработка //Оборудование: рынок ,предложение, цены. Приложение к журналу "Эксперт". М.: ИТЦ "Технополис 2100". 1998. Выпуск 1. 28 с. 2. Бобров В.Ф. Особенности образования суставчатой и элементной стружки при высоких скоростях / В.Ф. Бобров, А.И. Сидельников // Вестник машиностроения, 1976.- № 7.- С. 61-66. 3. Кабалкин Ю.Г. Трение и износ инструмента при резании / Ю.Г. Кабалкин // Вестник машиностроения. 1995. - № 1. – С. 26-32. 4. Ипатов Н.С. Влияние высокоскоростного резания на качество поверхности и размерную точность / Н.С. Ипатов, Л.С. Паокина // Теплофизика технологических процессов : тез. докл. 8 конф. / Рыбинский авиац. Техн. Ин-т. – Рыбинск, 1992. С. 136 – 138.

ОСОБЕННОСТИ МАГНИТО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ВНУТРЕННИХ ФАСОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Макаренко Р.И., Молчанов А.Д., Гусев В.В.
(кафедра МСМО, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

Аннотация. В статье показано краткое описание сущности магнито-абразивной обработки, а также указаны решения проблем обработки фасонных поверхностей при магнито-абразивной обработке.

Ключевые слова: магнито-абразивная обработка, фасонная поверхность, магнитно-абразивный инструмент

Введение

Анализ методов повышения качества поверхностей показал, что наиболее перспективными методами обработки фасонных поверхностей являются методы обработки абразивом на гибкой связке. Эластичная связка между абразивными зернами позволяет обрабатывать пространственно сложные поверхности без изготовления фасонного абразивного инструмента. Среди этих методов наиболее перспективным является магнитно-абразивная обработка (МАО). Данный метод прост в осуществлении, экологически чист, обеспечивает высокое качество обработанных поверхностей деталей и существенное повышение их сопротивляемости износу, коррозии и механическим нагрузкам, обладает высокой производительностью и успешно заменяет процессы химической и электрохимической обработки [1].

Магнитное поле удерживает порошок на индукторе и обеспечивает гибкую связь между зернами, что особенно важно при обработке фасонных поверхностей, так как позволяет порошку копировать профиль обрабатываемой поверхности. В процессе обработки обрабатываемый материал подвергается не только механическому абразивному воздействию, но также воздействию переменного магнитного поля, которое благоприятно отражается на эксплуатационных свойствах поверхностного слоя изделия.

С помощью магнитно-абразивной обработки можно механизировать такие операции как округление острых кромок и удаление заусенцев, окалины и тонких оксидных пленок, при этом происходит упрочнение обрабатываемых поверхностей деталей.

Опыт использования магнитно-абразивной обработки при изготовлении инструмента подтвердил перспективность этого метода. Магнитно-абразивная обработка инструментов из быстрорежущей стали и твердого сплава позволяет повысить стойкость в 2-3 раза. Стойкость увеличивается за счет уменьшения времени приработки инструмента, увеличения микротвердости поверхности рабочей части инструмента, уменьшения коэффициента трения и структурных изменений материала.

При магнитно-абразивной обработке фасонных поверхностей фасонными индукторами не всегда удается обеспечить равномерный съем металла по обрабатываемой поверхности. Даже при обработке поверхности с эквидистантным рабочим зазором разная интенсивность осцилляции зерен приводит к искажению формы. Увеличенный съем металла имеет место в приторцовых зонах рабочего зазора, хотя у самых торцевых кромок индуктора действуют концентраторы магнитного потока, заставившие зерна порошка двигаться вместе с деталью [1]. Процесс особенно усложняется при обработке таких фасонных поверхностей как рабочая поверхность волоки.

При магнитно-абразивной обработке роль режущего инструмента выполняет магнитно-абразивный порошок, удерживаемый в рабочем зазоре магнитным полем. Сформированный магнитным полем режущий инструмент обладает эластичностью. Основными

технологическими параметрами процесса магнитно-абразивной обработки являются: скорость главного движения, рабочий зазор, зернистость магнитно-абразивного порошка, время обработки.

Целью работы является исследования влияния технологических факторов на параметры качества магнитно-абразивной обработки, а также изучения влияния профиля детали на равномерность съёма металла с обрабатываемой поверхности.

Основное содержание работы

На каждое зерно магнитно-абразивного порошка, находящееся в рабочем зазоре действует комплекс сил магнитного, электромагнитного и механического происхождения. Результирующая сила F_p действующая на единичное зерно порошковой среды в рабочем зазоре, определяется по формуле:

$$\overline{F_p} = \overline{F_m} + \overline{F_{ин}} + \overline{F_{цб}} + \overline{F_{мд}} + \overline{F_{мп}}, \quad (1)$$

где F_m – магнитная сила, Н; $F_{ин}$ – инерционная сила, возникающая при столкновении движущегося зерна с обрабатываемой деталью, Н; $F_{цб}$ – центробежная сила, возникающая при вращении зерна с магнитным индуктором, Н; $F_{мд}$ – сила механического давления, $F_{тр}$ – сила трения, Н.

Глубина внедрения каждого зерна в обрабатываемую поверхность (а значит и объем срезаемого им металла) определяется соотношением между силами, прижимающими зерно к обрабатываемой поверхности P_u , и силами сопротивления материала заготовки внедрению зерна. Любое изменение условий равновесия приводит к автоматическому изменению глубины внедрения зерен и к соответственному изменению производительности процесса. Для осуществления резания, кроме внедрения зерна в обрабатываемую поверхность, необходимо удержать зерно от движения вместе с поверхностью заготовки и хотя бы кратковременно предотвратить его поворот под действием силы P_z . С этой целью должны быть выполнены следующие условия:

$$\begin{aligned} P_{zm} &\geq P_z \\ \sum f_1 b_1 / 2 &\geq P_z b / 2 \end{aligned} \quad (2)$$

где P_{zm} – сила, препятствующая движению зерна вместе с поверхностью, Н; f_1 – касательные силы взаимодействия с окружающими зернами, Н; $b_1/2$ – плечи действия сил f_1 относительно центра инерции режущего зерна, мкм; b – диаметр режущего зерна, мкм.

Общий съём металла, срезанный за единицу времени, будет равен:

$$Q = v \tau \sum_1^N \gamma_m V_1 k_c, \quad (3)$$

где γ_m – плотность обрабатываемого материала; V_1 – объем царапины единичной длины мм³; k_c – коэффициент стружкообразования; v – скорость движения зерна по обрабатываемой поверхности, м/с; τ – время обработки, с; N – количество зерен участвующих в резании.

При магнитно-абразивной обработке фасонных поверхностей рабочий зазор между обрабатываемой поверхностью и магнитным индуктором колеблется. Величина рабочего зазора во многом определяет создание условий, необходимых для протекания процесса магнитно-абразивной обработки.

В ДонНТУ были проведены исследования МАО внутренних отверстий из твердого сплава ВК6 инструментом с постоянными магнитами в виде колец [2, 3], которые устанавливались противоположно заряженными полюсами по отношению друг к другу на оправке. Четыре магнитных неодимовых кольца расположены по отношению друг к другу противоположной полярностью при обеспечении суммарной магнитной индукцией 0,8 Тл.

Между магнитами установлены стальные кольца, которые пропускают через себя магнитный поток, создаваемый двумя соседними магнитами.

Изменяя параметры зазора, при остальных неизменных условиях обработки, можно уменьшить значение установившейся величины Ra и производительность обработки (рис. 1), что обусловлено влиянием жесткости «магнитной щетки» в месте ее воздействия на обрабатываемый материал. Для получения наименьшей шероховатости обработанной поверхности зазор между магнитом и обрабатываемым материалом δ должен находиться в пределах 0,8...1,5 мм, в котором может содержаться не менее 4-х слоев магнитного абразивного материала. В ходе экспериментов было выявлено, что технологические режимы не влияют на отклонение от круглости.

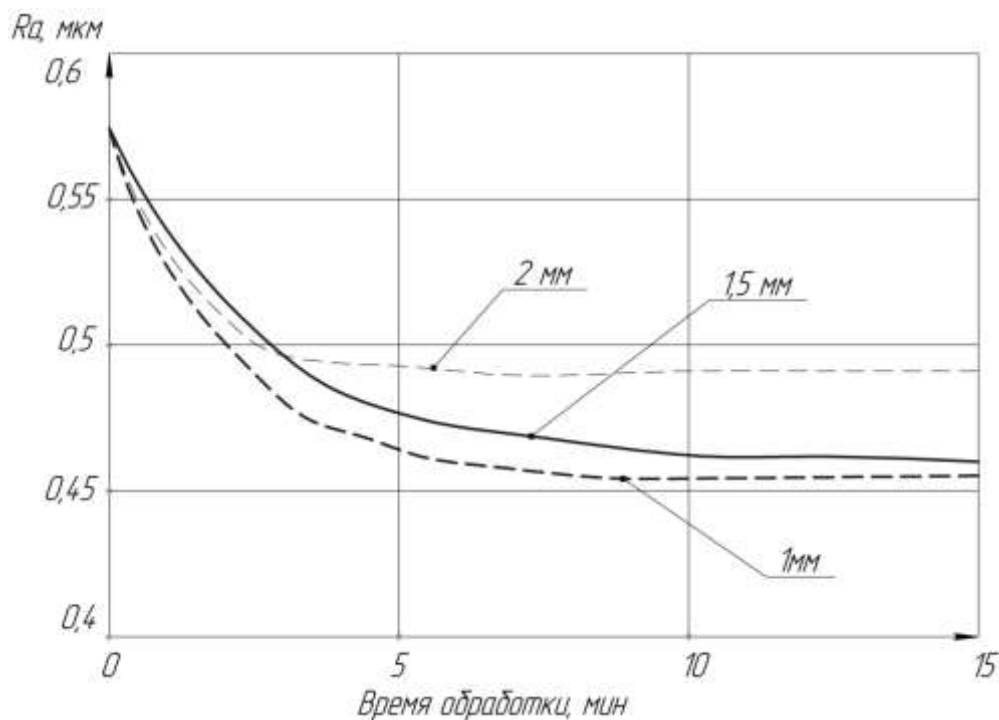


Рис. 1. Влияние времени обработки на изменение высотного параметра микрорельефа Ra при магнито-абразивной обработке при различном расстоянии между постоянными магнитами и обрабатываемой поверхностью: $n_{\delta} = 60$ об/мин, $V_u = 4$ м/с [2]

Колебание величины рабочего зазора не более 2 мм приводит к колебанию съема металла по обрабатываемой поверхности в пределах 8-12% [2, 4], дальнейшее увеличение перепада профиля детали не позволяет обеспечить равномерный съем металла с обрабатываемой поверхности и, следовательно – равномерную шероховатость поверхности. Для обработки фасонных деталей с перепадом профиля детали более 2 мм необходимо применять конструкцию инструмента, приближенную по форме к профилю обрабатываемой поверхности.

На процесс MAO влияют такие режимные параметры, как скорость инструмента и скорость заготовки. В ходе эксперимента было исследовано влияние скорости заготовки на параметр Ra при обработке внутренних поверхностей. Результаты экспериментальных исследований показали нелинейный характер влияния данного параметра (рис. 2).

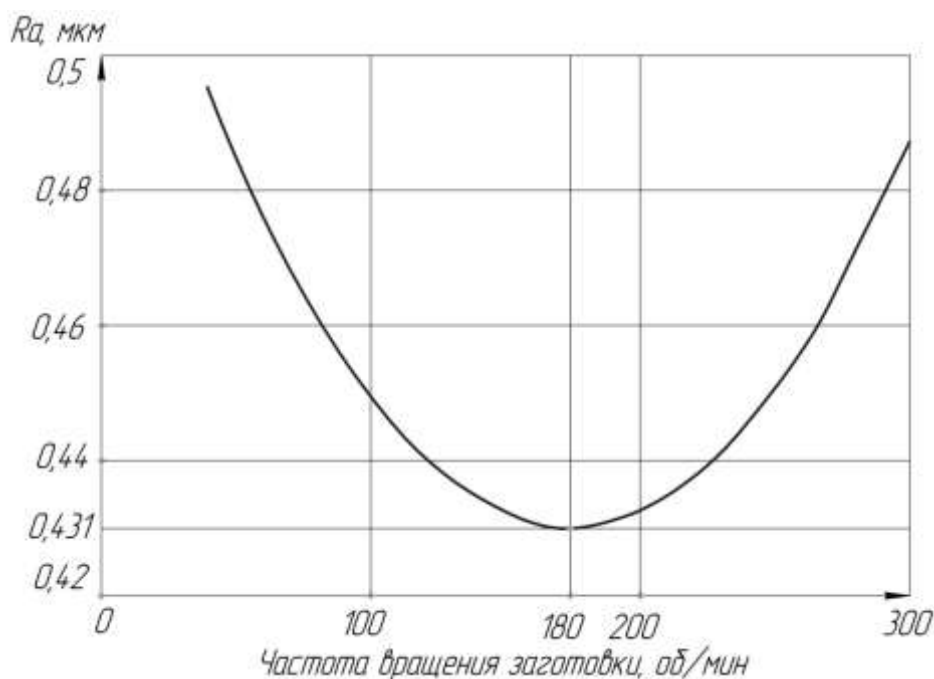


Рис. 2. Влияние частоты вращения заготовки n на значение параметра Ra после МАО, исходное значение $Ra = 0,56$ мкм. Режим резания: $\delta = 1$ мм, $V_p = 4$ м/с [2, 4]

Выводы

1. При обработке фасонных поверхностей, если колебания профиля детали не превышает 2 мм, то можно использовать магнито-абразивный инструмент (МАИ) постоянного размера. В противном случае необходимо применять конструкцию инструмента, приближенную по форме к профилю обрабатываемой поверхности.

2. При МАО необходимо выбирать зазор между инструментом и заготовкой в пределах 0,8...1,5 мм.

3. При обработке внутренних поверхностей МАО скорость резания и частота вращения заготовки оказывают нелинейное влияние на производительность и параметр микрорельефа Ra . Вследствие этого необходимо определить оптимальные режимы обработки по указанным параметрам режима МАО.

Список литературы: 1. Иконников, А.М. Совершенствование технологии магнито-абразивной обработки фасонных поверхностей / А.М.Иконников – Барнаул: Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 2004. – 15 с. 2. Гусев В.В. Магнитно-абразивная обработка внутренних поверхностей с использованием постоянных магнитов / В.В. Гусев, С.В. Кучеренко, Е.С. Сухоручко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Машинобудування і машинознавство». – Донецьк: ДонНТУ. – 2011. – Вип. № 8 (190). – С. 145-151. 3. Скворчевский Н.Я. Эффективность магнитно-абразивной обработки. / Н.Я. Скворчевский, Э.Н. Федорович, П.И. Ящерицын – Минск: Наука и техника, 1991. – 215 с. 4. Баранов Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов / Ю.М. Баранов. – Л.: Машиностроение, 1986. – 172 с.

ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СТРУИ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ С ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ КАК С НЕПОДВИЖНЫМ ПРЕПЯТСТВИЕМ

Мосеров К.Н., Полтавец В.В. (кафедра МСМО, ДонНТУ, г.Донецк, ДНР)

Аннотация. В данной статье представлены математическое описание силы гидромеханического воздействия с параметрами системы подачи СОЖ в зону резания.

Ключевые слова: *смазочно-охлаждающая жидкость, математическая модель, насадка, струя, стружка, сыпучие материалы*

В настоящее время практически отсутствуют исследования потоков жидкости как средства для эвакуации и транспортирования и силового воздействия на сыпучие материалы.

Проанализируем существующие способы теоретического описания силы гидромеханического воздействия с параметрами системы подачи СОЖ в зону резания.

В связи с этим представляется актуальным с единых теоретических позиций рассмотреть и установить основные закономерности гидромеханического воздействия струй жидкости на различные сыпучие материалы – металлическую и неметаллическую стружку, различных металлов и т.д. и на этой основе разработать методику определения основных параметров устройств, предназначенных для гидромеханического воздействия на сыпучие материалы.

Анализ литературных источников показал, что достаточно полно теоретически исследованы только затопленные непрерывные струи. Незатопленные же водяные струи имеют плотность вещества жидкости больше плотности среды (воздуха), в которую они истекают, а характер физических явлений при истечении воды из насадок в предлагаемых технических решениях отличен от тех явлений и закономерностей, которые имеют место при газовых затопленных струях. Поэтому для моделирования предлагаемых систем с гидромеханическим воздействием струй на сыпучие материалы необходимо установить и проанализировать зависимости, позволяющие определить основные параметры незатопленных струй.

Для теоретического определения силы давления струи жидкости на твердую преграду используют гидравлическое уравнение количества движения (уравнения секундного движения) [1]:

$$\sum P_x = Q_m(V_{2x} - V_{1x}). \quad (1)$$

Смысл этого уравнения заключается в следующем: при переходе от одной выделенной в потоке контрольной поверхности к другой поверхности сумма проекций на любую координатную ось внешних сил P_x , действующих на отсек потока между контрольными поверхностями, равна произведению массового расхода потока Q_m на приращение проекций на ту же ось средних скоростей жидкости V_{2x} и V_{1x} , движущейся через контрольные поверхности [1].

После преобразований гидравлического уравнения количества движения (1), получают силу давления перед насадком:

$$P_x = 2\mu\omega_H\rho gH, \quad (2)$$

где ρ – плотность жидкости;

μ – динамическая вязкость жидкости;

ω_H – живое сечение потока;

g – ускорение свободного падения;

H – напор.

Зависимость (2) может быть использована при моделировании и определении параметров устройств, предусматривающих подвод жидкости непосредственно в зону транспортирования сыпучего материала. В этом случае взаимодействия потока жидкости

с потоком сыпучего материала предусматривается непосредственно в конце насадка, как например, в одном из технических решений в соответствии с [1].

Однако, уравнение (2) справедливо только для начального участка струи. С удалением от насадка сила уменьшается – это легко показать, применяя уравнение Бернулли для двух сечений горизонтальной струи относительно плоскости сравнения, проходящего по ее оси. В этом случае можно записать:

$$\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + H_{\text{пот.}},$$

где α – коэффициент Кориолиса.

Потери напора обусловленные действием внешней среды, трением и завихрением частиц, приводят к уменьшению кинетической энергии, а следовательно, и к уменьшению средней скорости V_2 по мере удаления струи от места ее выхода из насадка

В соответствии с уравнением неразрывности снижения скорости по длине вызывает расширение струи. Этот процесс сопровождается захватом частиц внешней среды струей, следовательно, расходуется кинетическая энергия – струя затормаживается и, наконец, разрушается. Незатопленная водяная струя, вылетающая из насадки, имеет три характерных участка: первый участок, называемый начальным (L_H), характеризуется наличием плотного ядра, в котором скорости и динамические давления постоянны и равны скорости и динамическому давлению при вылете струи из насадка; на втором участке, называемом основным ($L_{\text{осн}}$), струя воды, хотя и имеет ещё сравнительно плотную центральную зону, но на поверхности уже насыщена пузырьками воздуха; на третьем участке, называемом неэффективным ($L_{\text{неэф}}$), струя состоит главным образом из разорванных струек и капель воды в воздушной среде.

Очевидно, что при разработке систем с гидромеханическим воздействием на сыпучие материалы с целью достижения наибольшей их эффективности следует использовать именно начальный участок струи, в пределах которого ядро сплошного нераспавшегося потока движется с постоянной скоростью, равной скорости истечения потока из отверстия насадка. Оценочно для водяных незатопленных струй в частности, для гидромониторных, длина начального участка в соответствии с [1] может быть принята

$$L_H = (140 - 145)d_H$$

где d_H - диаметр насадка.

В общем случае длина начального участка зависит от многих факторов, в первую очередь – от начальных параметров струи. В зависимости от начальных параметров струи, применяемых для гидромеханического воздействия, в [3] предложена их классификация (см. табл.1).

Таблица 1. Классификация струи в зависимости от начальных параметров струи.

Группа струй	Диаметр насадка, d_0 , мм	Начальное давление, p_0 , МПа	Расход воды, Q , м ³ /ч	Рабочая длина струи L , м
1. Низконапорные водяные струи	50-190	0,3-2	500-4000	10-80
2. Водяные струи среднего давления	14-15	3-13	70-400	0,3-10
3. Водяные струи высокого давления	4,5-12	15-30	10-50	0,1-4
4. Тонкие водяные струи высокого давления	1-4	35-60	2-30	0,02-0,4
5. Струи сверхвысокого давления	0,2-0,9	70-300	2-22	0,005-0,05

Влияние начальных параметров струи на безразмерную длину начального участка устанавливается зависимостью, полученной экспериментально [1]:

$$\frac{L_H}{d_o} = f(Re).$$

Эта зависимость для низконапорных водяных струй и струй среднего давления (в соответствии с приведенной классификацией) выражается уравнением:

$$\frac{L_H}{d_o} = A - BRe,$$

где Re – число Рейнольдса для начального сечения струи, определяемое как

$$Re = \frac{v_o d_o}{\nu},$$

где v_o – скорость истечения струи;

d_o – диаметр насадка;

ν – кинематический коэффициент вязкости (для воды при $t=20^\circ\text{C}$ $\nu = 0,0101$);

A и B – эмпирические коэффициенты, значения которых определяются конструктивными особенностями струеформирующего устройства.

Эффективность предлагаемых транспортирующих устройств с дополнительным гидромеханическим воздействием на сыпучие материалы в конечном счете определяется величиной силы действия струи на перемещаемый материал.

Для получения зависимости, позволяющей определять силу действия струи на плоскую гладкую преграду, используется теорема о количестве движения. В результате получается уравнение для всех видов струй приведенной классификации:

$$P = F \rho_{cp} v_{cp}^2,$$

где v_{cp} – средняя скорость струи на расстоянии L от насадка до преграды;

F – полная площадь поперечного сечения аэрированной струи на расстоянии L от насадка;

ρ_{cp} – средняя плотность аэрированной струи на расстоянии L от насадка.

Средняя скорость струи v на расстоянии L от насадка определяется исходя из выражения:

$$p_x = \frac{\rho v_x^2}{2}.$$

После преобразования равенства (4) с учетом размерностей и коэффициента скорости получаем:

$$v_x = 43,96 p_x^{0,5}, \text{ м/с.}$$

Здесь p – давление в МПа, а индекс x обозначает положение точки в сечении струи с определенными давлением и скоростью.

Средняя скорость по сечению струи определяется из выражения:

$$v_{cp} = 43,96 p_{cp}^{0,5}.$$

В общем случае среднее динамическое давление струи $p_{cp} = f_1(p_o, L/d_o)$ и определяется по эмпирическим уравнениям в зависимости от вида струи.

Средняя плотность аэрированной струи на расстоянии L от преграды $\rho_{cp} = f_2(p_o, L/d_o)$ и определяется также по эмпирическим уравнениям в зависимости от вида струи в соответствии с приведенной классификацией [2].

Регрессионная модель представляется в виде [3]:

$$y = b_o + \sum_{i=1}^N b_i x_i + \sum_{i=1}^N b_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j}^N b_{ij} x_i x_j + \sum_{i < j < l}^N b_{ijl} x_j x_l + \dots$$

Кубическая трехмерная модель имеет вид:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{112}x_1^2x_2 + b_{112}x_1x_2^2 + b_{111}x_1^3 + b_{222}x_2^3$$

Из приведенных выражений видно, что для нелинейных моделей объём вычислительной работы существенно возрастает по сравнению с линейными моделями.

В тоже время оценка степени адекватности линейных моделей показала их практическую непригодность для использования даже в инженерных расчётах. [2]

Для её уменьшения рекомендуется различные приемы, в частности, «кодирование» величин, возводимых в степень, и др. Однако объём вычислений применительно к неавтоматизированным расчетам для полиномов высоких порядков и в этом случае остается весьма значительным. Поэтому при разработке нелинейных моделей используются специальные компьютерные программы, для чего зависимость представлена в виде:

$$y = F_{гд}(d, L, p) = \sum_{i=0}^k b_i \cdot d^{I_i} \cdot L^{J_i} \cdot p^{G_i},$$

где – b_i коэффициенты уравнения множественной регрессии ($i=0,1, \dots, k$);
 I_i, J_i, G_i – показатели степени при независимых переменных уравнениях регрессии;
 k – число членов уравнения регрессии.

Заключение

В дальнейшем планируется по описанным методикам определить силу гидродинамического воздействия струи СОЖ на обрабатываемую поверхность и на отделенные при обработке частицы материалов, и элементы микрогеометрии поверхности для того, чтобы проверить возможность их пластического деформирования под воздействием СОЖ.

Список литературы: 1. Нечепав В.Г. Теоретические предпосылки моделирования и разработки транспортирующих устройств с гидромеханическим воздействием / В.Г. Нечепав // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Сборник научных трудов. – 1997. - №4. – С. 104-113.

2. Нечепав В.Г. Математические модели для определения силы гидродинамического воздействия незатопленных струй / В.Г. Нечепав // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сборник научных трудов. – 2001. - №15. – С. 209-218.

3. Шавловский С.С. Основы динамики струй при разрушении горного массива / С.С. Шавловский // М.: Наука. – 1977. –С. 173.

РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УЧЕБНОГО КОМПЛЕКСА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Назаров С.С., Молчанов А.Д. Гусев В.В.
(кафедра МСМО, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

Аннотация: В данной статье разработана структурная математическая модель автоматизированного учебного комплекса механической обработки и исследована его работа, представлены варианты реализации математической модели.

Ключевые слова: модель, усилитель-преобразователь, бункер, двигатель.

Введение

Моделирование – исследование какого либо объекта или системы объектов путём построения и изучения их моделей. Это использование моделей для определения или уточнения характеристик и рационализации способов построения вновь конструируемых объектов.

При исследовании сложное реальное явление заменяется некоторой упрощённой копией или схемой, иногда такая копия служит лишь только для того чтобы запомнить и при следующей встрече узнать нужное явление. Иногда построенная схема отражает какие-то существенные черты, позволяет разобраться в механизме явления, даёт возможность предсказать его изменение. Одному и тому же явлению могут соответствовать разные модели [1].

Цель работы – Моделирование и исследование системы автоматического управления для определения оптимальных параметров.

Основное содержание работы

Математическая модель представляет собой комплекс элементов, объединённых в замкнутую систему. Пример варианта структурной математической модели представлен на рис. 1.

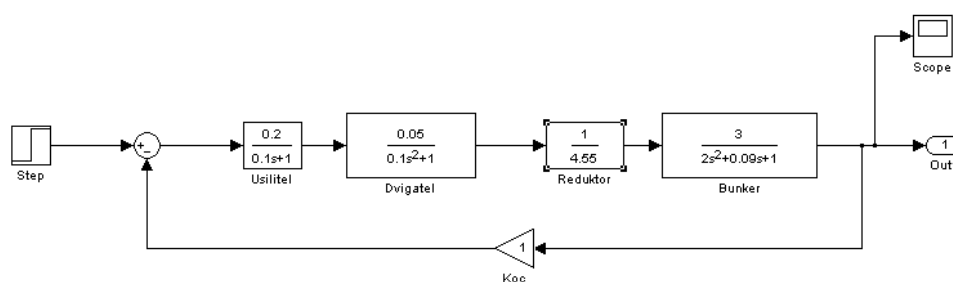


Рис. 1. Вариант структуры математической модели.

Спроектированная математическая модель состоит из усилителя-преобразователя, электрического двигателя, редуктора, бункера.

В этой математической модели использованы следующие блоки:



Step – ступенчатый сигнал, меняется время скачка (StepTime), начальное (InitialValue) и конечное значение (FinalValue).



Scope – осциллограф, показывает изменение сигнала в виде графика, позволяет передавать данные в рабочую область Matlab для последующей обработки и оформления.

$$\frac{1}{s+1}$$

TransferFcn – передаточная функция, в параметрах задаются числитель (Numerator) и знаменатель (Denominator) в виде полиномов.



Gain – усилитель, задается коэффициент усиления (Gain).



Sum – сумматор, используется для сложения и вычитания входов. Параметр Listofsigns задает количество входов, их знаки («+» для сложения и «-» для вычитания). Промежутки между входами (обозначаются знаком |).

Блоками **TransferFcn** обозначаются: корректирующее устройство, усилитель-преобразователь, двигатель, редуктор, бункер.

Блоком **Gain** обозначена обратная связь.

1. Передаточные функции, используемые для экспериментов, представлены в таблице

Пример передаточной функции:

$$W(s) = \frac{K}{(Ts^2 + 1)s}$$

где K – коэффициент усиления; T – постоянная времени [2];

Были проведены эксперименты с различными передаточными функциями описывающими элементы, входящие в структурную математическую модель. В ходе многочисленных опытов был достигнут желаемый результат. Структурная математическая модель системы управления бункера представлены на рис. 2.

График переходного процесса в системе управления бункера комплекса механической обработки приведен на рис. 3.

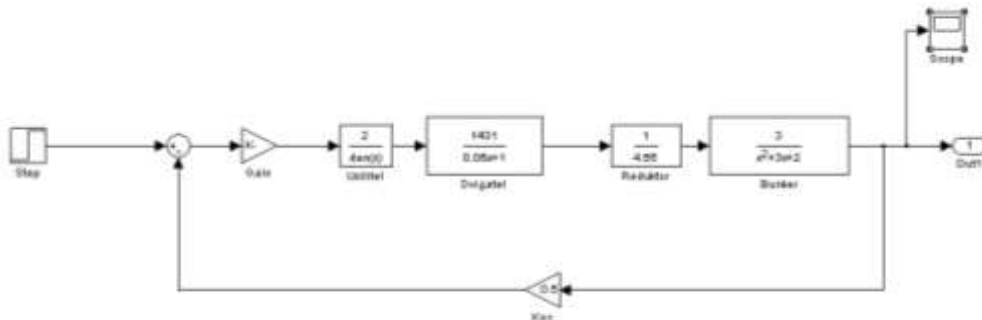


Рис. 2. Структурная математическая модель системы управления бункера.

Таблица 1. Варианты реализации математической модели.

№ п/п	Передаточные функции					Коэфф. обратной связи	Коэфф. усиления
	Корректирующее устройство	Усилитель-преобразователь	Двигатель	Редуктор	Бункер		
1	$W(s) = \frac{s}{s^2}$	$W(s) = \frac{0,2}{0,1s + 1}$	$W(s) = \frac{0,05}{0,1s^2 + 1}$	$i = \frac{1}{4,55}$	$W(s) = \frac{3}{2s^2 + 0,09s + 1}$	Кос=1	
2	$W(s) = \frac{s}{s^2}$	$W(s) = \frac{2}{0,0025s^2 + 0,0707s + 1}$	$W(s) = \frac{0,05}{0,1s^2 + 1}$	$i = \frac{1}{4,55}$	$W(s) = \frac{2(0,05^2s^2 + 2 * 0,05 * 0,707s + 1)}{s(0,01s + 1)}$	Кос=1	
3	$W(s) = \frac{s}{s^2}$	$W(s) = \frac{1}{2s + 10}$	$W(s) = \frac{0,05}{0,1s^2 + 1}$	$i = \frac{1}{4,55}$	$W(s) = \frac{3}{2s^2 + 0,09s + 1}$	Кос=1	
4	$W(s) = \frac{s}{s^2}$	$W(s) = \frac{2}{2s + 10}$	$W(s) = \frac{0,05}{0,0025s^2 + 1}$	$i = \frac{1}{4,55}$	$W(s) = \frac{2,7}{2,5s^2 + 0,01s + 1}$	Кос=1,1	
5	НЕТ	$W(s) = \frac{100}{2,1s + 10}$	$W(s) = \frac{0,5}{0,0025s^2 + 1}$	$i = \frac{1}{4,55}$	$W(s) = \frac{2}{s^2 + 3s + 2}$	Кос=0,5	Кр= 0,08
6	НЕТ	$W(s) = \frac{2}{0,009s + 10}$	$W(s) = \frac{1431}{0,06s + 1}$	$i = \frac{1}{4,55}$	$W(s) = \frac{3}{s^2 + 3s + 2}$	Кос=0,5	Кр= 0,001

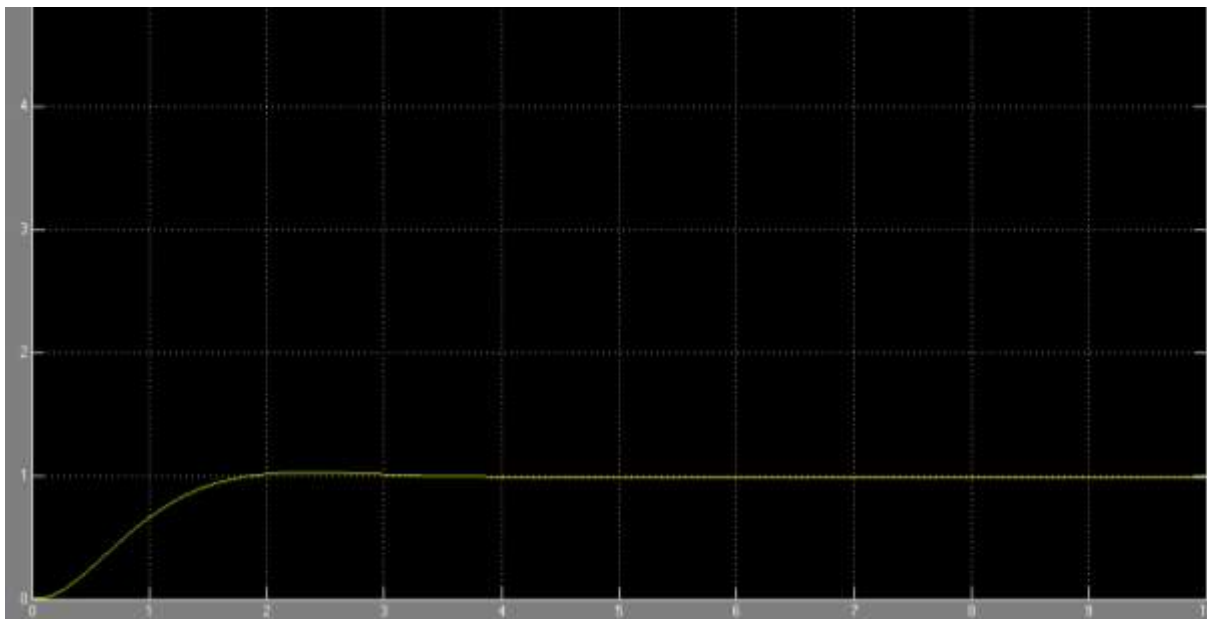


Рис. 3. График переходного процесса в системе управления бункера комплекса механической обработки

Передаточные функции, которые потребовались, для достижения желаемого результата

Усилитель-преобразователь в виде апериодического звена первого порядка с передаточной функцией:

$$W(s) = \frac{K_y}{Ts + 10},$$

с параметрами: $K_y = 2$; $T = 0,009$ с.

Двигатель в виде консервативного звена с передаточной функцией:

$$W(s) = \frac{K_d}{T^2 s^2 + 1},$$

с параметрами: $K_d = 1431$; $T = 0,06$ с.

Бункер в виде колебательного звена с передаточной функцией:

$$W(s) = \frac{K_b}{s^2 + Ts + 2};$$

с параметрами: $K_b = 3$; $T = 3$ с.

Коэффициент обратной связи: $K_{oc} = 0,5$; коэффициент усиления: $K_y = 0,001$.

Вывод: Полученная структурная математическая модель удовлетворяет предъявляемым требованиям и позволяет использовать её в учебном комплексе механической обработки.

Список литературы: 1. Герман-Галкин, С.Г. Matlab&Simulink: Проектирование мехатронных систем на ПК. – СПб.: КОРОНА-Век, 2008. – 368 с. 2. Петраков, Ю.В. Автоматичне управління процесами обробки матеріалів різанням: Навчальний посібник / Ю.В. Петраков. – Київ: УкрНДІАТ, 2004. – 383 с.

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Портной П.В., Молчанов А.Д. (кафедра МСМО, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

Аннотация: В данной статье представлен обзор современных систем автоматического управления, позволяющих управлять различным технологическим оборудованием на предприятиях.

Ключевые слова: Системы автоматического управления, нечеткая логика, адаптивная система, автоматизация, режимы резания

Системы автоматического управления и контроля (далее САУ) являются неотъемлемой частью современных предприятий и играют ключевую роль в обеспечении их надежной и безопасной работы. Современные САУ обычно служат для решения двух основных задач: автоматическое управление технологическими процессами (ТП) и автоматический контроль параметров и режимов работы.

Автоматизация ТП позволяет существенно увеличить эффективность работы конкретного оборудования (объекта управления) и работы предприятия в целом. Автоматизация технологического процесса базируется на описании технологических операций (технологических алгоритмов), разработанном инженерами-технологами и обеспечивающем сам ТП. Автоматизация позволяет существенно снизить время, затрачиваемое на выполнение стандартных (заранее определенных) действий (операций, циклов) автоматизируемого оборудования, за счет увеличения скоростей исполнительных механизмов объектов управления, отсутствия останова между выполнением отдельных действий движущимися частями, реализации совместного движения нескольких механизмов, оптимизации траектории движения управляемого оборудования и т. п. В сегодняшнее время существует множество различных САУ и в данной статье рассмотрены лишь несколько из них.

Для начала рассмотрим систему автоматического управления режимами резания на основе нечеткой логики.

Традиционно среди всех режимных параметров выделяют P_z и Θ как наиболее информативные при исследовании и управлении процессом резания, а также наиболее доступные для измерения.

Температура в зоне резания и главная составляющая силы резания при точении определяются по следующим эмпирическим зависимостям [1, 2, 3]:

$$P_z = C_{P_z} + t_p^z + S^y + V^x + K_p \quad (1)$$

$$\Theta = C_\theta + t_p^q + S^n + V^m (\sin(\varphi))^{n-q},$$

где C_{P_z} – константа, зависящая от свойств обрабатываемого материала, по сути своей представляющая удельную силу резания, приходящуюся на единицу площади поперечного сечения среза, Н/мм²; t_p – глубина резания, мм; S – подача, мм/об, V – скорость резания, м/мин; K_p – общий коэффициент, представляющий собой произведение частных коэффициентов, учитывающих конкретные условия резания; C_θ – коэффициент, выражающий зависимость теплоотдачи от обрабатываемого материала и условий резания; φ – главный угол в плане, градусы. Степени x , y , z , m , n , q – являются вещественными числами, показывающими степень влияния каждого из параметров режима резания соответственно на силу резания и температуру в зоне резания [4].

Модель ПТ должна быть многомерной (S, V, t_p – управляющие параметры; P_z, Θ – управляемые параметры) и многорежимной (обеспечить исследование, например, чернового и чистового режимов резания). Эти обстоятельства приводят к необходимости поиска принципиально новых подходов к решению задачи построения моделей ПТ, позволяющих обеспечить требуемую для САУ многомерность, многорежимность, многосвязность (большое число параметров ПТ находятся в сложных взаимосвязях, не поддающихся формализации) и нелинейность ПТ. В данном примере предлагается метод нечеткого моделирования Такаги-Сугено [5] в качестве решения проблемы построения модели в данных условиях. Суть данного метода сводится к аппроксимации нечеткими множествами нелинейных компонентов модели и всех компонентов, точное определение которых либо затруднительно, либо приводит к значительному усложнению модели. Аппарат нечеткой логики Такаги–Сугено позволяет аппроксимировать трудноформализуемые компоненты модели и вместе с тем обеспечивает требуемые качества многомерности, многосвязности и т. д.

Цель управления определяется требованиями оптимальности переходных процессов выходных координат P_z, Θ на всех режимах функционирования системы (по быстрдействию и перерегулированию), поддержанием постоянства значений $P_z = \text{const}$ и $\Theta = \text{const}$ для каждого режима резания и минимумом ошибок рассогласования между преобразованными измерительной системой сигналами $E_{P_z}(t), E_{\Theta}(t)$ выходных координат P_z, Θ соответственно, и заданных воздействий $u_{P_z}^*, u_{\Theta}^*$:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e_{P_z}(t) = 0, \lim_{t \rightarrow \infty} e_{\Theta}(t) = 0, t \rightarrow 0 \quad (2)$$

$$P_{zi} = \text{const}, \Theta_i = \text{const}$$

где i – число режимов работы системы (режимов резания); $e_{P_z}(t) = u_{P_z}^*(t) - E_{P_z}(t)$ и $e_{\Theta}(t) = u_{\Theta}^* - E_{\Theta}(t)$ – ошибки рассогласования соответственно силы резания P_z и температуры в зоне резания Θ . Схему САУ процесса точения можно представить в следующем виде (рис. 1).

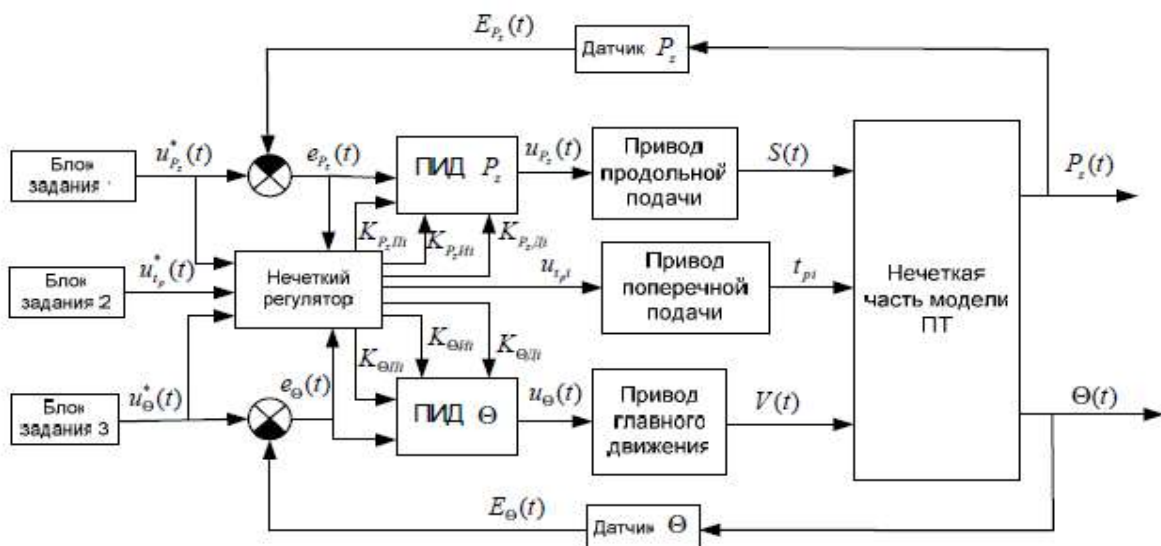


Рис. 1. Схема САУ процессом точения [6]

На рис. 1 блоки задания 1, 2, 3 предназначены для подачи задающих воздействий $u_{P_z}^*(t), u_{t_p}^*(t), u_{\Theta}^*(t)$ соответственно. САУ режимами резания представляет собой два ПИД-регулятора для регулирования координат P_z, Θ и адаптивной надстройки в

виде нечеткого регулятора, который выполняет функцию настройки ПИД-регуляторов и формирования управляющего напряжения для привода поперечной подачи на определенный режим резания. Настройка ПИД-регуляторов осуществляется подачей соответствующих коэффициентов.

Данная САУ режимами резания, которая обеспечивает оптимальное формирование режимных параметров процесса точения (ПТ) для чернового и чистового режимов резания в реальном режиме времени, что позволяет сэкономить время на переналадку станка и повысить эффективность ПТ. Обеспечение постоянства значений параметров P_z , Θ и рациональная настройка режимных параметров ПТ позволяют улучшить качество выпускаемой продукции повысить технико-экономические показатели ПТ. Используемая при разработке алгоритма управления нечеткая модель ПТ позволяет значительно снизить неопределенность ПТ путем использования двух измеряемых координат (P_z и Θ) вместо обычной одной и учета зависимостей $P_z(S, V, t_p)$ и $\Theta(S, V, t_p)$, что в свою очередь позволяет повысить точность САУ. Однако главный недостаток этой модели: громоздкость и значительные требования к вычислительным ресурсам. Поэтому представленную нечеткую модель ПТ будет затруднительно использовать во встраиваемых автоматических системах управления. Главным предназначением данной модели является применение в исследовании процесса точения и в разработке алгоритмов управления для систем управления ПТ. Эта особенность модели и наличие таких особенностей, как многомерность и многорежимность, практически полностью исключают возможность использования классических методов управления, адаптивных методов управления с эталонной моделью, а также использование всевозможных наблюдателей состояния системы.

Следующей рассмотрим систему адаптивного управления процессом обработки деталей на станках с ЧПУ.

При обработке детали резанием на инструмент воздействуют факторы различной природы: механическая нагрузка, электрические токи, вибрации, химические воздействия, упругие деформации ТОС, наростообразование. Все это приводит к интенсивному износу конструктивных элементов реза и, даже, к его поломке. Что ведет к снижению точности, качества, продуктивности или к появлению брака, что несет за собой экономические убытки и большую себестоимость обрабатываемых деталей [7].

Следовательно, для улучшения параметров качества, точности, себестоимости обрабатываемых деталей стоит использовать систему адаптивного управления режущим инструментом, непосредственно в процессе обработки, что даст возможность выявлять момент предшествующий поломке инструмента, для своевременной его замены.

Система адаптивного управления процессом резания должна обладать высокой точностью информации о зоне резания и состоянии инструмента, в реальном времени отслеживать степень износа, ЭДС пары инструмент-деталь, и силе, действующей на инструмент. Система должна работать стабильно, а также с низкой вероятностью ложной оценки состояния режущего инструмента и сбоев в системе автоматизированного контроля процесса обработки детали. Реализация данной системы должна быть такой, чтоб ее можно было применить без особых конструктивных изменений приводов станка и технологической обрабатывающей системы (ТОС) [8].

Согласно исследованиям проведенным в Национальном техническом университете Украины, наиболее подходящим по информационным параметрам, на основе которых можно судить о состоянии обрабатывающего инструмента, есть ЭДС резания и сила резания.

Исходя из этого, система адаптивного управления процессом резания основана на измерении возникающих ЭДС резания и силы резания, которые возникают в процессе обработки естественным образом.

Основным параметром для контроля является ЭДС резания, что возникает в следствии повышения температуры в зоне резания, так как увеличение ЭДС свидетельствует об увеличении контакта инструмент-деталь (КИД), что в свою очередь говорит об увеличении износа инструмента.

Система адаптивного управления процессом обработки деталей имеет 2 контура контроля. Первый контур контроля является подсистемой быстрого аварийного отключения приводов станка, которая в случае превышения допустимой силы резания посылает команду на безопасный отвод резца из зоны резания и отключение приводов станка. Второй контур является подсистемой оценки и прогнозирования износа инструмента на основе сигналов ЭДС резания.

На рисунке (рис. 2) показана блок-схема устройства, реализующего предложенную систему адаптивного управления.

В соответствии с предлагаемой системой в процессе обработки измеряют сигналы термоЭДС и ЭДС упругих перемещений технологической системы с помощью датчиков 1, отделяют постоянные и переменные составляющие сигналов, измеряемых в блоке 2, который может быть выполнено в виде электронного фильтра. Постоянные составляющие подают в блок управления 3, где формируют управляющие команды на изменение режимов резания, а переменные с помощью преобразователя 4, который может быть выполнен в виде когерентного оптического процессора, превращают во взаимокоррелирующие функции, которые считываются в устройстве 5, а затем подают в блок коррекции 6, которым формируют корректирующие команды на смену режимов резания. Команда корректировки на изменение режимов резания попадает в блок управления 3, где создаются команды управления приводами станка.

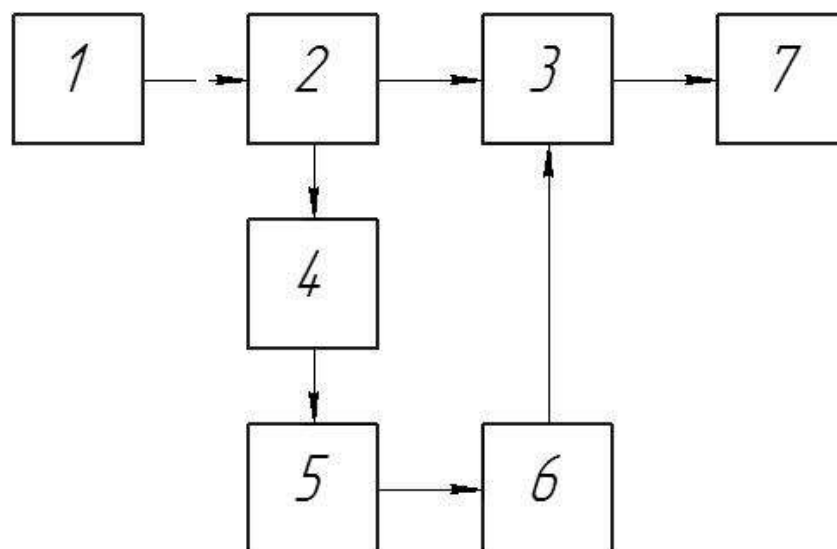


Рис. 2. Блок-схема системы адаптивного управления процессом обработки деталей на станках с ЧПУ [9]

Использование предлагаемого способа позволяет с высокой степенью точности по ряду параметров получить более точную информацию о скорости износа режущего инструмента в процессе обработки и тем самым наиболее полно использовать инструмент по его свойствам устойчивости, что в конечном итоге позволяет повысить произ-

водительность обработки деталей на станках с ЧПУ и снизить себестоимость обрабатываемых деталей.

Последней из рассмотренных является система управления гидравлических машин на примере термопластавтомата.

Функционирование системы управления термопластавтоматом (СУТ) во всех режимах работы литейной машины осуществляется с помощью программы, записанной во флэш-памяти ПЛК, и, в соответствии с принципиальной электрической схемой, аппаратно поддерживающей выполнение всех видов технологических циклов [10].

Основные функции системы:

- эффективное управление с контролем сбойных ситуаций золотниками гидравлической схемы в рамках технологических алгоритмов выполнения процесса литья;
- реализация защитных и функциональных блокировок;
- обеспечение диагностики и оперативного контроля исправности элементов управления схемы электроавтоматики;
- управление электроприводами шнека и маслостанции в соответствии с видом технологической операции;
- идентификация исходного состояния силовых исполнительных механизмов термопластавтомата как агрегата повышенной опасности;
- ввод переменных и технологических параметров цикла;
- визуализация процесса литья, сбойных ситуаций и повреждений элементов гидравлической и электрической схем;
- контроль числа циклов;
- ведение архива завершённых циклов процесса литья.

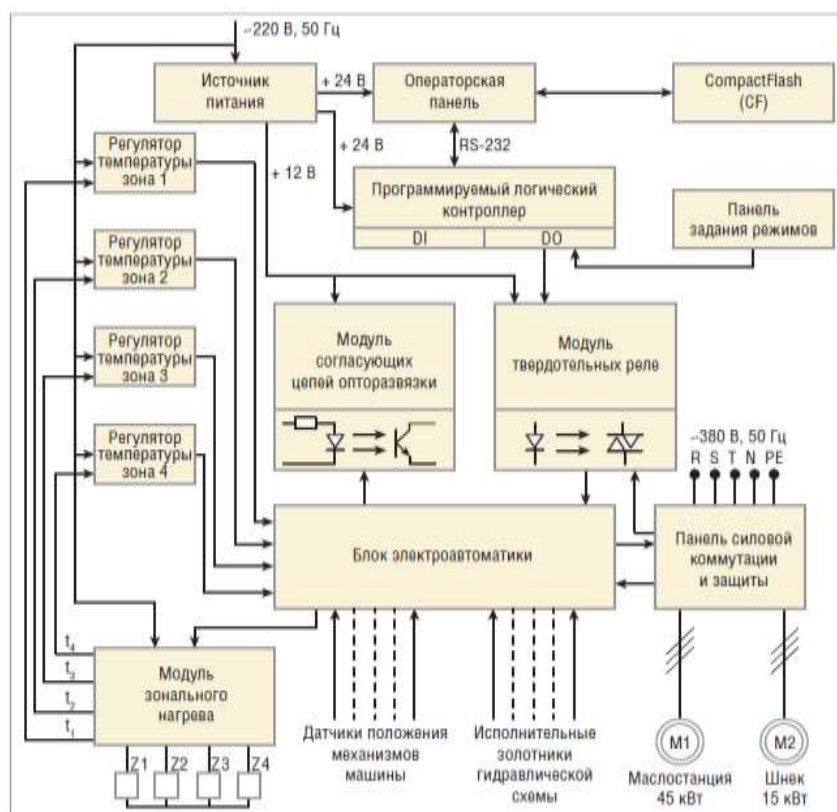


Рис. 3. Структурная схема системы управления термопластавтоматом [10]

Условные обозначения на рис. 3: M1, M2 – электродвигатели; Z1...Z4 – нагревательные элементы; R, S, T – фазы напряжения; N – нейтраль; PE – заземление; $t_1 \dots t_4$ – температура в зонах нагрева; DO, DI – дискретные входы и выходы [10].

Предложенный вариант модернизации СУТ внедрён пока только на двух машиностроительных предприятиях: ОАО «Тульский оружейный завод» и ОАО «Тульский машиностроительный завод им. Рябикова». Почти двухлетний срок эксплуатации подтвердил состоятельность выбранных инженерных решений, что позволило достичь:

- значительного снижения трудоёмкости и времени перехода на другую литевную форму (в среднем на 20%), что актуально в условиях мелкосерийного производства;
- уменьшения уровня эксплуатационных расходов за счёт реального снижения потребления электроэнергии на 18...20% и сокращения простоя термопластавтомата при устранении неисправностей и сбоев в работе оборудования, особенно в электрогидравлической системе;
- значительного увеличения наглядности прохождения циклов работы, что способствует повышению качества изделий.

Кроме этого, конфигурация аппаратно-программных средств СУТ позволяет в случае модернизации в кратчайшие сроки адаптироваться к особенностям оборудования практически любой гидравлической машины для литья под давлением, что даёт реальный шанс для тиражирования разработанной системы на аналогичных производствах и, как следствие, позволяет добиться экономии денежных средств.

Заключение

Каждая САУ, рассмотренная выше, обладает различными технологическими функциями, что позволяет использовать их на всевозможных промышленных предприятиях и каждая из них обладает своими уникальными особенностями, которые дают возможность оценить все плюсы и минусы данных систем управления.

Список литературы: 1. Бобров, З.Ф. Основы теории резания металлов / З.Ф. Бобров. – М.: Машиностроение, 1975. – 344 с. 2. Грановский, Г.И. Резание металлов / Г.И. Грановский, В.Г. Грановский. – М.: Высшая школа, 1985. – 304 с. 3. Основы автоматизации и управления технологическими процессами в машиностроении / Под ред. В.Ц. Зориктуева. – Уфа: УГАТУ, 2000. – 406 с. 4. Рубинштейн, С.А. Основы учения о резании металлов и режущий инструмент / С.А. Рубинштейн [и др.]. – М.: Машиностроение, 1968. – 386 с. 5. Kazou T., H.O. Wang. Fuzzy control systems design and analysis. – JohnWiley&Sons, Inc, 2001. – 303 p. 6. Зориктуев, В.Ц. Система автоматического управления режимами резания на основе нечеткой логики / В.Ц. Зориктуев, Р.Р. Шангареев. – Уфа: УГАТУ, 2010. – 8 с. 7. Васильев С.В. ЭДС и температура резания / С.В. Васильев // Станки и инструмент, 1980, № 10. – С. 20-22. 8. Остафьев, В.А. Адаптивная система управления / В.А Остафьев, В.В. Шевченко, Г.С. Тымчик // Механизация и автоматизация управления. – Киев, №1, 1983. – С. 18-20. 9. Шарабура, С.Н. Система адаптивного управления процессом обработки деталей на станках с ЧПУ / С.Н. Шарабура, В.В. Шевченко // Современные научные исследования и инновации. 2014. – № 6. Ч. 1. 10. Деркач А.Д. Примеры решений на базе сенсорных панелей Weintek для АСУ ТП и встраиваемых систем / А.Д. Деркач, Р.В. Камалиев. В.Н. Маценко // Современные технологии автоматизации. – 2014. – № 3.

КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ ПЕРЕДОВЫХ СТАНКОСТРОИТЕЛЬНЫХ ФИРМ

Савчук А.В., Жаркова С.А. (ДонВПУ, г. Донецк)
E-mail: donvpu.67@bk.ru

Аннотация. В статье описаны конструкции и технологические возможности шлифовальных станков передовых станкостроительных фирм.

Ключевые слова: шлифовальный станок, абразивный инструмент, шероховатость.

Введение

Целью статьи является ознакомление с новейшими достижениями в области конструирования и производства шлифовального оборудования. В каталоге компании «ИРЛЕН-ИНЖИНИРИНГ» [1] представлены современные модели технологичного оборудования для высокоточной продольной и врезной обработки как наружных конических, торцовых или цилиндрических, так и внутренних поверхностей. В течение 20 лет высокоэффективное оборудование этой тайваньской компании лидирует на мировом рынке благодаря уникальной производительности, простоте управления, надежности и безупречному качеству обработки.

Классификация и назначение шлифовальных станков

1. Назначение шлифовальных станков

Это оборудование предназначено для устранения шероховатостей поверхности и получения абсолютно точных размеров путем абразивной обработки различных деталей. В процессе обработки на скорости 0,1–100,0 м/с современные станки способны обеспечить снимаемые припуски в диапазоне 0,01–1,0 мм.

Шлифовальные станки для металла классифицируются по типу обработки и форме поверхности деталей:

- **Кругло-шлифовальные** – шлифовка (полировка) внешней поверхности деталей с осью вращения;
- **Бесцентрово-шлифовальные**— обработка поверхностей колец и других заготовок с длиной, превышающей диаметр;
- **Внутришлифовальные**— шлифовка (полировка) внутренних поверхностей;
- **Плоскошлифовальные**— высокоточная обработка плоскостей;
- **Специальные**— обработка зубьев, резьбы и иных элементов.

В каталоге компании «ИРЛЕН-ИНЖИНИРИНГ» [1] представлены различные модели шлифовальных станков с ЧПУ.

2. Основные характеристики шлифовальных станков

Основными параметрами при выборе шлифовальных станков по металлу являются мощность, частота вращения, конструктивное решение и степень автоматизации.

- **Мощность** указывает на возможность обработки различных материалов и производительность станка.
- **Скорость шпинделя** определяет качество и быстроту шлифовки.
- **Конструкция**— возможность обработки определенных деталей с помощью конкретных инструментов.
- **Автоматизация.** Оптимальным решением для масштабного производства являются шлифовальные станки с ЧПУ.

Современные шлифовальные станки обеспечивают высокоточную обработку деталей с помощью различных абразивных инструментов. Технологичное оборудование позволяет получать идеально гладкую поверхность с минимальными допусками по габаритам изделия при минимальных временных и ресурсных затратах.

Кругло-шлифовальные станки серии GU популярного бренда Paragon позволяют обрабатывать широкими кругами заготовки вращения диаметром до 280 мм. Высокопроизводительные надежные комплексы тайваньского производства незаменимы при шлифовке фасонных и ступенчатых деталей вращения.

Круглошлифовальные станки

1. Назначение и особенности

Станки предназначены для обработки наружных и внутренних цилиндрических и конических, а также торцевых поверхностей тел вращения с осевым или радиальным движением подачи. Максимальный обрабатываемый диаметр 280мм.

Универсальные кругло-шлифовальные станки с ЧПУ серии GU (рис. 1) предназначены для обработки заготовок вращения путем осевого или врезного шлифования поверхностей.

В стандартную комплектацию шлифовальных станков серии GU входят: суппорты, дополнительные круги, линейные и контактные датчики, балансировочные приспособления, очистки СОЖ, фильтры масляного тумана, сепараторы СОЖ, люнеты и иные дополнительные приспособления и оснастки.



Рис. 1. Круглошлифовальный станок с ЧПУ[1]

2. Область применения

Тайваньский кругло-шлифовальный станок серии GU — идеальное решение для среднего или мелкосерийного производства, ремонтно-инструментальных предприятий, сервисных центров, мастерских по обслуживанию различной техники и оборудования. Необходимость приобретения данного оборудования, как правило, обусловлена производственной потребностью в высокоточной обработке технологичных деталей.

Возможности кругло-шлифовальных станков: шлифовка поверхностей; полировка заготовок; заточка инструмента; калибровка отверстий и деталей; устранение дефектов литых деталей и штамповки.

3. Преимущества круглошлифовальных станков

Универсальность. Надежные и практичные кругло-шлифовальные станки способны решать обширный спектр задач по обработке тел вращения в интересах производства, ремонта или обслуживания техники, оборудования, транспорта.

Идеальная точность. Высококачественный кругло-шлифовальный станок позволит выполнять шлифовку или полировку с точностью в несколько десятых микрометра.

Практичность. Мы предлагаем оборудование с тщательно продуманной компоновкой и рациональным устройством рабочих узлов, что обеспечит высокую производительность при безупречном качестве обработки независимо от метода шлифовки, вида инструмента, конфигурации и размеров детали.

Плавность хода. Благодаря уникальной технологии ParagonMachinery обеспечивается повышенная точность и плавность вращения шпинделя.

Современные шлифовальные станки обеспечивают высокоточную обработку деталей с помощью различных абразивных инструментов. Технологичное оборудование позволяет получать идеально гладкую поверхность с минимальными допусками по габаритам изделия при минимальных временных и ресурсных затратах.

Плоскошлифовальные станки

1. Назначение и виды

Плоскошлифовальные станки по металлу специально спроектированы для высокоточной обработки плоскостей металлических заготовок различной конфигурации. Уникальная конструкция станков серии PFG предусматривает возможность использования дополнительной оснастки, что позволяет шлифовать не только плоские, но фасонные поверхности.

Существует несколько видов плоскошлифовальных станков Perfect: *с крестовыми столами; с круглыми столами; портальные; консольные ; с подвижными колоннами.*

Каждая модель является оптимальным вариантом для реализации определенных задач.

2. Плоскошлифовальные станки с крестовыми столами

Станки данного типа (рис. 2) предназначены для обработки небольших плоских заготовок торцевой или периферийной кромкой шлифовального круга с допуском шероховатости 1,25–0,02. Неподвижная колонна оборудована направляющими для смещения стола в продольной и/или поперечной плоскости. Стол установлен на направляющих и может перемещаться в 2-х направлениях. Продольное перемещение обеспечивает гидравлический цилиндр, поперечное и вертикальное - ходовые винты.

В каталоге компании «ИРЛЕН-ИНЖИНИРИНГ»[1] представлено пять модификаций:

- М — с ручным управлением;
- Н — продольное смещение с помощью гидроцилиндра;
- АН — полуавтоматы с программируемыми контроллерами (ПЛК) для настройки ширины обработки, количества проходов, глубины реза и других параметров;
- ADP — полуавтоматы с ПЛК, сенсорными экранами и сервоприводами;
- CNC — плоскошлифовальные станки с ЧПУ.



Рис. 2. Плоскошлифовальный станок с крестовым столом[1]

3. Плоскошлифовальные станки с круглыми столами

Станки с круглыми столами (рис. 3) проектируются для обработки с допуском шероховатости 1,25–0,02 поверхностей круглых заготовок: кольца, фланцы, диски и другие изделия. Вращение стола реализовано с помощью высокоточного механизма, работающего от электропривода.

При необходимости плоскошлифовальные станки данного типа могут оснащаться программируемыми контроллерами управления перемещением стола в вертикальной плоскости.



Рис. 3. Плоскошлифовальный станок с круглым столом[1]

Станки предназначены для обработки торцом и периферией шлифовального круга плоскостей на круглых деталях. Особенно хорошо подходят для шлифования колец, дисков, фланцев. Достигаемая шероховатость Ra 1,25 - 0,02.

Круглый вращающийся стол приводится в движение электродвигателем.

4. Плоскошлифовальные порталные станки

Высокоэффективная порталная конструкция плоскошлифовального станка (рис. 4) с возможностью продольного смещения стола — оптимальное решение для высокоточной обработки плоских заготовок путем тяжелого шлифования. Массивный неподвижный портал в сочетании с двумя колоннами обеспечивает достаточную жесткость и устойчивость мощного агрегата. Для шлифовальной бабки, смонтированной на направляющих между колоннами, предусмотрена возможность перемещения в поперечной и/или вертикальной плоскости.



Рис. 4. Плоскошлифовальный станок порталного типа[1]

Станки предназначены для обработки торцом и периферией шлифовального круга плоских деталей большого размера. Достижимая шероховатость $Ra\ 1,25 - 0,02$.

Стол перемещается в продольном направлении. На неподвижном портале с двумя колоннами расположена шпиндельная бабка, которая обеспечивает поперечное и вертикальное перемещение. Стол оснащен гидроцилиндром, траверса - серводвигателями.

5. Плоскошлифовальные консольные станки

Станки консольного типа (рис. 5) отличаются массивной траверсой, смонтированной на неподвижной литой станине, выполненной из мелкозернистых сортов высококачественного чугуна. С помощью гидроцилиндра стол можно смещать вдоль оси станка по направляющим V-образного типа. Поперечное смещение обеспечивает траверса,двигаемая сервоприводами. В вертикальной плоскости смещение шлифовального круга производится с помощью электронного маховика.

Станки предназначены для обработки торцом и периферией шлифовального круга плоских деталей. Достижимая шероховатость $Ra\ 1,25 - 0,02$.

Стол перемещается в продольном направлении. На неподвижной колонне расположена траверса, которая обеспечивает поперечное перемещение. Стол оснащен гидроцилиндром, траверса - серводвигателями.



Рис. 5. Плоскошлифовальный станок консольного типа[1]

6. Плоскошлифовальные станки с подвижными колоннами

Станки с подвижными в поперечной плоскости колоннами и продольным смещением прямоугольных столов (рис. 6) наиболее эффективны для обработки небольших плоских заготовок. Цельнолитые станины из мелкозернистых сортов чугуна высшего качества выполнены с двойными стенками. Такое решение обеспечивает повышенную жесткость конструкции, необходимую для тяжелого шлифования.

В зависимости от степени автоматизации станки могут быть двух видов:

- АНР — с программируемыми контроллерами (ПЛК) для настройки количества и размеров обработки в вертикальной плоскости.
- ADP — плоскошлифовальный станок для металла с ПЛК, сенсорным экраном и сервоприводами.



Рис. 6. Плоскошлифовальный станок с подвижной колонной[1]

Бесцентрово-шлифовальные станки

Станки (рис. 7) предназначены для шлифования гладких, ступенчатых, конических и фасонных поверхностей тел вращения методом шлифования "на проход" и "на врезание". Диапазон обрабатываемых диаметров - от 1 до 200мм.



Рис. 7. Бесцентрово-шлифовальный станок [1]

Внутренне - шлифовальные станки

Станки (рис. 8) предназначены для обработки внутренних цилиндрических и конических, а также, торцевых поверхностей тел вращения шлифованием с осевой или радиальной подачей. Диапазон шлифуемых диаметров - 3-150мм.



Рис. 8. Внутренне - шлифовальный станок [1]

Торцекругло - шлифовальные станки

Станки (рис. 9) предназначены для обработки наружных цилиндрических и конических, а также торцевых поверхностей шлифованием с осевой и радиальной подачей. При этом можно отшлифовать наружную поверхность и торец одним движением. Максимальный диаметр обработки - 320мм.



Рис. 9. Внутренне - шлифовальный станок [1]

Применение шлифовальных станков обусловлено высокими требованиями к точности размеров, качеству поверхности, формы и положения обрабатываемых поверхностей и возможностью справиться с труднообрабатываемыми материалами.

Выводы

Станкостроительные фирмы выпускают широкую гамму шлифовальных станков различного назначения, обеспечивающих выполнение высоких требований по точности размеров, точности формы и расположения поверхностей, качеству обработанной поверхности. Дальнейшее совершенствование конструкции станков обусловлено в частности необходимостью обработки новых видов труднообрабатываемых материалов.

Список литературы: 1. Каталог компании «ИРЛЕН-ИНЖИНИРИНГ» Шлифовальные станки.- Режим доступа: <http://irlen.ru>

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА С ПОМОЩЬЮ ПРОФИЛОГРАФИРОВАНИЯ

Смердов К.Ф., Грибач Э.К., Мусеев Д.А. (кафедра МСМО, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

Аннотация: В статье рассмотрен вопрос оценки профиля зерен алмазного шлифовального круга при профилографировании его рабочей поверхности.

Ключевые слова: алмазный шлифовальный круг, рабочая поверхность круга, профилографирование, стереологическая реконструкция поверхности.

Профилографирование рабочей поверхности круга (РПК) отличается от других методов исследования простотой и большим объемом получаемой информации, но имеет систематическую погрешность, вызванную тем, что ощупывающий наконечник при своем прямолинейном перемещении не попадает на вершины большинства режущих кромок, а проходит по их боковым сторонам. На кафедре мехатронные системы машиностроительного оборудования ДонНТУ было разработано специальное устройство (рис.1) для записи режущего профиля алмазного круга на металлической связке с выделением зерен из общего рельефа круга[1]. Оно построено на базе профилограф-профилометра 4, электронного блока 3 и приспособления 2. Информация выводится на ленту самопишущего прибора профилограф-профилометра 5.

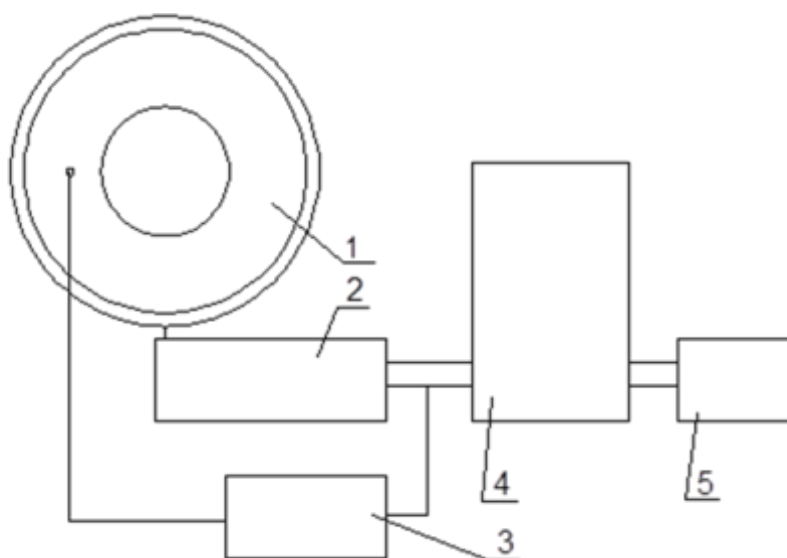


Рис. 1. Структурная схема для записи режущего профиля алмазного круга с выделением зерен из связки: 1- алмазный круг, 2 - приспособление для перемещения записывающей иглы и вращения круга, 3- устройство для выделения зерен из профиля, 4 – профилограф-профилометр, 5 – записывающий прибор

На приспособлении 2 располагается датчик профилограф-профилометра, который регистрирует колебания коромысла с лопаточкой, перемещающегося в соответствии с изменением профиля круга. Здесь же располагается привод вращения круга, состоящий из малооборотного двигателя, блока редукции и приводного капролонового

ролика. При помощи пониженной редукции достигается очень малая частота вращения алмазного круга – 1 оборот за 10 часов для круга диаметром 200 мм, соответствующая линейной скорости перемещения, равной 1 мм/мин. Такая скорость трассировки круга соответствует скоростям протяжки датчика, применяемым при профилографировании поверхности детали.

Перед записью профиля РПК производилась тарировка всего измерительного устройства. Для этого использовалась микрометрическая скоба с ценой деления 2 мкм. Длина профилограммы составляет не менее 15-20 мм рабочей поверхности круга. Привод вращения круга имеет возможность смещения в вертикальном направлении, что позволяет его использовать для различных размеров алмазных кругов. В качестве контактирующего элемента применяется лопаточка, выполненная из закаленной стали. Толщина ее составляет 0,05 мм, а ширина варьировалась в пределах от 0,1 до 0,7 мм в зависимости от зернистости круга и задач исследований. Запись алмазных зерен воспроизводит изображение набора частиц, находящихся в пересекаемой плоскости щупа, в искаженном виде, как это показано на рис.2. Профилограмма поверхности круга является плоскостью ортогональных проекций всех элементов структуры, содержащихся в объеме, отсекаемом краями щупа. Анализ получаемого рельефа круга по профилограмме требует применения методов стереологической реконструкции поверхности, которая аналогична анализу структуры фольги при электронной микроскопии [2].

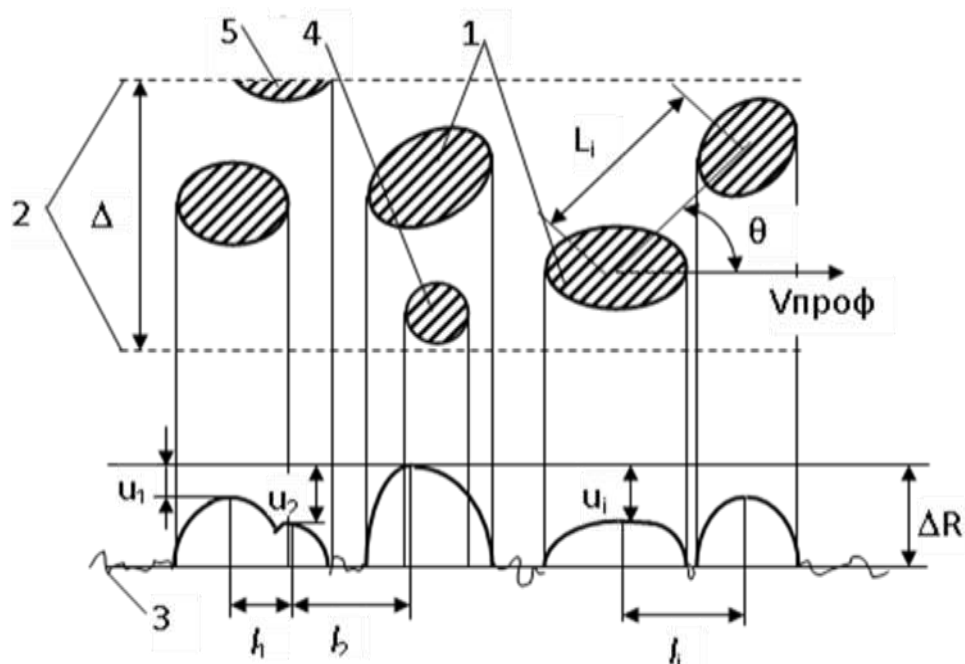


Рис. 2. Схема профилографирования алмазного круга: 1 – зерно, 2 - границы профилографирования (Δ – ширина иглы), 3 – связка круга, 4 – экраняемое зерно

При профилографировании лопаточкой с выделением связки за счет ее токопроводности происходит то же, что и при исследовании тонкой фольги или тонкого среза поля непрозрачных элементов в прозрачной среде. Две параллельные плоские секущие, лежащие на расстоянии Δ друг от друга, проходят сквозь структуру. Структуру рабочей поверхности круга можно представить как бы состоящей из непрозрачных зерен в прозрачной среде. При этом на профилограмме наблюдаются вертикальные проекции частей зерен, лежащих между плоскостями, проходящими через края щупа (см. рис.2).

Плоскость наблюдения воспроизводит изображение набора зерен, находящихся в пересекаемой плоскости в искаженном виде. Большие зерна закрывают меньшие и их изображения могут перекрываться. Число изображений на проекции N_A не будет равно истинному числу зерен вследствие эффекта экранирования и присутствия сечений тех зерен, которые пересекаются краями щупа. Эффект экранирования проявляется при $\Delta/\bar{d}_3 > 1$, где \bar{d}_3 – средний диаметр зерна. Так как при 100% концентрации алмазов объем, занимаемый ими, составляет 0,25, то для определения истинного числа зерен используем метод Хиллиарда [2]. Определение числа зерен в единице объема N_V не требует поправок на экранировку и пересечение и заключается в экстраполяции $N_A(\Delta)$ к нулевой толщине Δ слоя (лопатки). Определяют N_A и \bar{H} (средняя ширина зерен) для нескольких толщин лопаточки и строят график в координатах $\ln(N_A + \Delta \cdot \bar{H}) - \Delta$ и на оси ординат при $\Delta = 0$ находят $\ln N_A$.

Проекционное изображение элементов структуры круга при профилографировании (см. рис. 2) требует, как и в случае определения истинного числа зерен на поверхности по измерению расстояния между вершинами зерен l_3 на профилограмме, определить ее истинное значение L_3 . Для случая, когда вершины зерен в зоне профилографирования и направление между двумя ближайшими вершинами (задаваемое углом θ) распределены равномерно, можно воспользоваться при определении истинного расстояния между вершинами зерен зависимостью $L_3 = 4 \cdot l_3 / \pi$, предложенной в работе [3]. При этом ширина лопаточки Δ при профилографировании должна находиться в пределах $\bar{d}_3 \leq \Delta \leq 2\bar{d}_3$, где \bar{d}_3 – средний диаметр алмазных зерен. В противном случае происходит экранирование одних зерен другими и искажение в определении истинного расстояния между вершинами зерен.

При работе шлифовального круга на поверхности алмазных зерен образуется площадка износа (рис. 3).

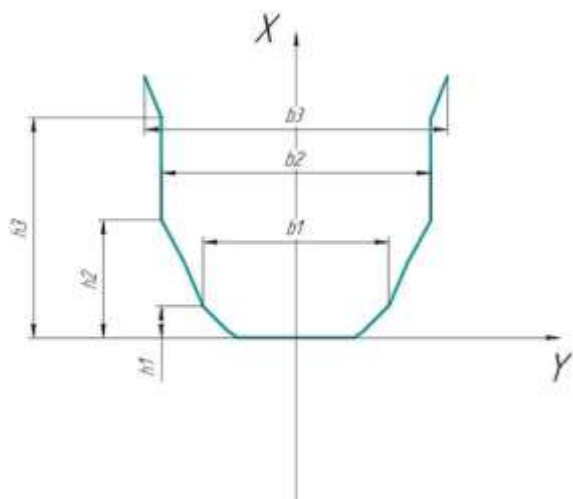


Рис 3. – Схема профиля зерна.

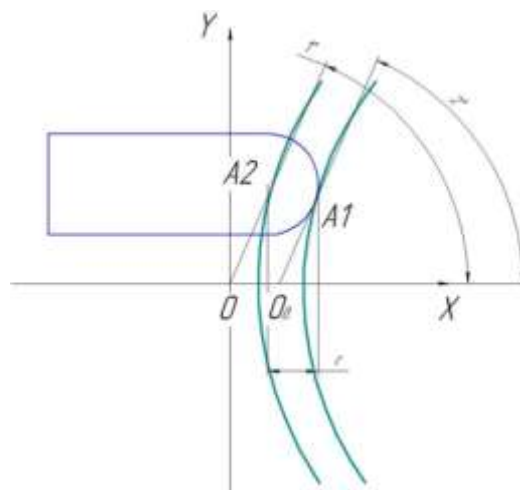


Рис.4. Измеряемый и истинный профиль зерна при профилографировании

В связи наличием у профиля зерна площадки износа при вершине шириной Δ_x (см. рис. 3), действительный профиль зерна следует аппроксимировать системой из 2 уравнений:

$$\begin{cases} y = 0, & \text{при } y \leq 0; \\ y = hx^a, & \text{при } y > 0. \end{cases} \quad (1)$$

Тогда для описания профиля зерна следует применять две характеристики: величину площадки при вершине и уравнение вида $y = hx^a$. Для определения коэффициентов h и a профиль зерна на участке $y > 0$ разбиваем на i участков через одинаковые расстояния Δh от вершины зерна. На каждой высоте h_i измеряем ширину b_i , зерна.

Координаты точки A_2 в системе xOy , связанной с вершиной профиля зерна определим по профилограмме (рис. 4).

$$\begin{cases} X_{A_1} = x_{A_1} + r * \sin\phi \\ Y_{A_1} = y_{A_1} - r * \cos\phi \end{cases}$$

где x_{A_1}, y_{A_1} – координаты точки A на профилограмме, мкм; $r = \Delta/2$ – радиус закругления лопаточки.

В системе x_0, O_0, y_0 , связанной с вершиной действительного профиля зерна, координаты точки A_2 :

$$\begin{cases} X_{O_{A_1}} = x_{A_1} - r \\ Y_{O_{A_1}} = y_{A_1} \end{cases} \quad \text{После подстановки имеем:} \quad \begin{cases} X_{O_{A_1}} = x_{A_1} + r * \sin\phi - r \\ Y_{O_{A_1}} = y_{A_1} - r * \cos\phi. \end{cases}$$

Используя известные тригонометрические зависимости, получим:

$$\begin{cases} X_{A_1} = x_{A_1} + r \left(1 - \frac{tg\phi}{\sqrt{1 + tg^2\phi}} \right); \\ Y_{A_1} = y_{A_1} - r \frac{tg\phi}{\sqrt{1 + tg^2\phi}} \end{cases}$$

В общем случае $tg \phi$ представляет собой производную от $y = hx^a$. Следовательно, $tg\phi = y' = (hx^a)' = hax^{a-1}$.

Тогда координаты действительного профиля зерна:

$$\begin{cases} X_{A_1} = x + r \left(1 - \frac{ha}{\sqrt{x^{2(1-a)} + (ba)^2}} \right); \\ Y_{A_1} = bx^a - r \frac{1}{\sqrt{1 + (hax^{a-1})^2}} \end{cases} \quad \text{или} \quad \begin{cases} X_{A_1} = x + r \left(1 - \frac{ha}{\sqrt{x^{2(1-a)} + (ba)^2}} \right); \\ Y_{A_1} = y - r \frac{1}{\sqrt{1 + (hax^{a-1})^2}} \end{cases}$$

При $\phi < \phi_{lim} = 10$, расчет координат точек действительного профиля следует производить по уравнениям:

$$\begin{cases} X_0 = x; \\ Y_0 = y - r. \end{cases}$$

Для вывода уравнения регрессии, описывающего профиль зерна, приведем уравнение к виду $y = b_0 + b_1x$, путем логарифмирования обеих частей уравнения:

$$\lg y = \lg a + a \lg x.$$

Решаем систему уравнений:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \lg y_i = a \sum_{i=1}^n \lg x_i + n \lg a \\ \sum_{i=1}^n \lg x_i * \lg y_i = a \sum_{i=1}^n \lg x_i + \lg a \sum_{i=1}^n \lg x_i, \end{cases}$$

после решения, которой и подстановки полученных значений в (1), получим для иглы 0,1 мм профиль зерна, описываемый при профилографировании: $y = 0.54 * x^{0.51}$ (результаты получены при обработке профиля 5 зерен).

Полученные результаты были использованы для получения действительного профиля зерна. После аппроксимации нами было определено, что $y = 0.42 * x^{0.52}$.

Количество зерен с такой площадкой износа на зерне составляет до 70 % от общего числа зерен. Как показал анализ профилограмм, ширина этой площадки является величиной переменной и изменяется от 10 до 70 мкм. Распределение площадок износа по размерам приведено на рис.5.

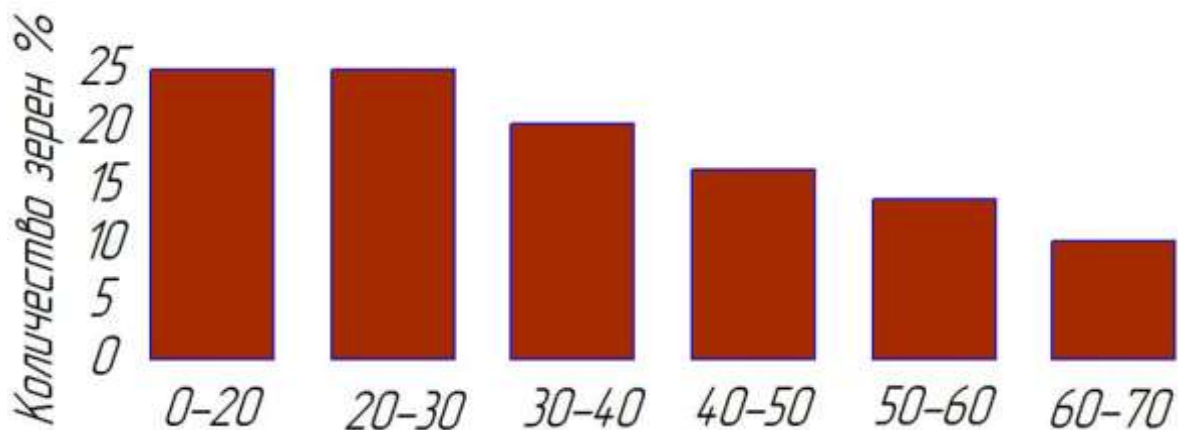


Рис.5. Гистограмма распределения ширины площадки при вершине зерна

Выводы

1. После правки не все зерна с площадкой износа удаляются с круга.
2. При оценке профиля зерна необходимо учитывать площадку износа на поверхности зерна.
3. Геометрическая форма зерна описывается степенной функцией вида $y = Abx^a$, где $A = \begin{cases} 0, & x \leq c \\ 1, & x > c \end{cases}$ – функция, учитывающая наличие площадки износа, размером $2 \cdot c$.

Список литературы: 1. Гусев, В.В. Определение параметров разновысотности зерен алмазного круга при шлифовании / В.В. Гусев, А.Д. Молчанов // Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве. Труды 5-й международной научно-технической конференции, 28-29 мая 2002. – Харьков: ХНПК «ФЭД», 2002 – С. 175-179. 2. Чернявский, К.С. Стереология в металловедении / К.С. Чернявский. – М.: Металлургия, 1977. – 80 с. 3. Шейко М.Н. Теоретико-вероятностная интерпретация погрешности метода профилографирования при исследовании рельефа абразивно-алмазного инструмента. Сообщение 1 / М.Н. Шейко // Сверхтвердые материалы. – 1998. – №5. – С. 46-50.

ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ФРЕЗЕРОВАНИЕМ

Топоркова А.Ю., Шаповалова Н.Н. (ДонВГМУ, г. Донецк, ДНР)

Аннотация. В статье рассмотрены особенности и проблемные вопросы процесса резания при фрезеровании титановых сплавов. Приведены рекомендации по выбору оборудования, режимов резания, геометрии режущей кромки инструмента и формированию параметров срезаемого слоя при фрезерной обработке титановых сплавов.

Ключевые слова: титан, титановые сплавы, станок, скорость резания, подача, схема фрезерования, стружка

Введение

Титан широко применяется для изготовления таких деталей, как: двигатели и детали фюзеляжа летательных аппаратов, шасси, мелкоразмерные детали, медицинские импланты, детали автомобилей, коробки передач, турбины, детали соединений.

Титановые сплавы, обладая значительными механическими характеристиками, имеют хорошую коррозионную стойкость, не подвержены быстрому износу и имеют высокую удельную прочность. Обратной стороной хороших физико-механических свойств является низкая обрабатываемость резанием данных материалов.

Основной причиной плохой обрабатываемости титановых сплавов является возникновение больших сил и высоких температур в зоне резания, это происходит вследствие того, что титановые сплавы обладают высокой пластичностью и низкой теплопроводностью [1].

Производство авиационных деталей характеризуется большими объемами снимаемого припуска (до 80 % от объема заготовки), в сочетании с низкой скоростью резания данных материалов это приводит к значительным материальным и энергетическим затратам на механическую обработку. Поэтому в настоящее время повышение эффективности изготовления деталей из титановых сплавов за счёт увеличения производительности механической обработки является актуальной задачей. Существуют факторы, которые ограничивают использование имеющихся ресурсов при решении поставленной задачи. Это ограничения связанные с использованием имеющегося оборудования, инструмента, оснастки и т.д.

При малых частотах вращения шпинделя (которые характерны для обработки титановых сплавов) современные универсальные обрабатывающие центры имеют низкую эффективную мощность главного привода. Поэтому основным ограничивающим фактором при повышении производительности обработки титановых сплавов является мощность резания.

Эффективность процесса фрезерования титановых сплавов зависит от правильности выбора режимов резания, режущего инструмента, жесткости станка и надежности крепления заготовки.

Рассмотрим ряд рекомендаций по выбору оборудования, режимов резания, геометрии режущей кромки инструмента и схемы обработки при фрезеровании титановых сплавов.

Металлорежущее оборудование

Высокопроизводительная обработка титановых сплавов возможна только на высокопроизводительном оборудовании. Примером станка для обработки титана может

служить вертикально-фрезерный высокоскоростной станок с ЧПУ мод. ФП-27ТС производства Савёловского машиностроительного завода (рис. 1).

Станок был представлен на международной выставке «Металлообработка 2013» в Москве [2].



Рис. 1 Станок ФП-27ТС ООО «СМЗ» для обработки титана [2]

Он создан на базе вертикально-фрезерного станка мод. ФП-27, отличающегося высокой жёсткостью конструкции. Новая модель предназначена для высокоскоростной программной обработки сложных фасонных поверхностей корпусных деталей типа балок, кронштейнов, лонжеронов, изготавливаемых из высокопрочных титановых труднообрабатываемых жаропрочных сплавов с применением высокопроизводительного инструмента на повышенных режимах резания. Станок позволяет фрезеровать торцевыми и концевыми фрезами, сверлить, зенкеровать, растачивать отверстия и нарезать резьбу.

Главный привод – шпиндельная головка (до 4000 об/мин) производства ООО «СМЗ» с асинхронным электродвигателем фирмы Siemens в комплекте с планетарным двухступенчатым редуктором фирмы ZF (Германия).

Конструкция головки позволяет вести высокопроизводительное силовое фрезерование, характерное для обработки титановых и жаропрочных сплавов, обеспечивая высокую жёсткость, динамику и виброустойчивость.

Станок оснащён контактной измерительной системой контроля состояния инструмента и детали фирмы Renishaw, стандартным инструментальным магазином дискового типа на 12 позиций с манипулятором смены инструмента.

В качестве системы управления станком используется УЧПУ Sinumerik 840D.

Станок имеет II класс точности по ГОСТ 8-82 и размеры рабочего стола 2000x1000 мм. Обеспечивает рабочее пространство XYZ (2000x1000x500 мм соответственно) и может обрабатывать до 2000 кг (вес заготовки с приспособлением) при собственном весе 23 т, обеспечивая высокую жёсткость даже при предельных режимах обработки.

Скорость рабочих подач по осям X,Y может находиться в диапазоне 0,5-16000 мм/мин, по оси Z – 0,5-10000 мм/мин. Жёсткая конструкция станка в сочетании с комбинированными направляющими дает возможность обеспечить производительность более 500 см³/мин при черновом фрезеровании.

Высокая производительность обеспечивается также благодаря обильному охлаждению под высоким давлением. Станок оснащен многофункциональной системой подачи СОЖ [2].

Режимы резания

В силу физических свойств титана (способности к нагартовке, низкой теплопроводности) скорость резания при фрезеровании титановых сплавов невелика и составляет обычно 10-15 м/мин. Увеличение скорости резания влечет за собой налипание стружки (точнее диффузионную сварку фрезы со стружкой) и поломку режущих кромок [3].

Типовые режимы резания при фрезеровании титана [4] приведены в табл.1.

Таблица 1. Рекомендуемые режимы резания при фрезеровании титана [4]

Области применения	Рекомендуемые режимы резания	Глубина резания
Черновая обработка	$V_c = 40 - 60$ м /мин	> 3 мм
Получистовая обработка	$V_c = 60 - 80$ м /мин	1 – 3 мм
Чистовая обработка	$V_c = 80 - 120$ м /мин	0,5 – 1 мм

Высокоскоростная обработка титановых сплавов твердосплавными концевыми фрезами осуществляется с высокой частотой вращения инструмента. Высокоскоростная обработка обеспечивает возможность фрезерования с большой глубиной резания (a_p) по отношению к диаметру фрезы при небольшой ширине фрезерования (a_e) и низкой подаче на зуб (f_z) (рис. 2).

В таблице 2 приведены условия, необходимые для осуществления высокоскоростного фрезерования титановых сплавов.

Таблица 2. Условия высокоскоростного фрезерования титановых сплавов [4]

Условие	Эффект	Преимущества
Тонкая стружка $f_z = 0,05-0,1$ мм	Небольшие силы резания / малое отжатие инструмента	Большая глубина резания $a_p = 1-2$ диаметра
Небольшая ширина фрезерования $a_e = 4-20$ % от диаметра	Пониженная температура в зоне резания	Высокая скорость резания $V_c = 120-225$ м/мин

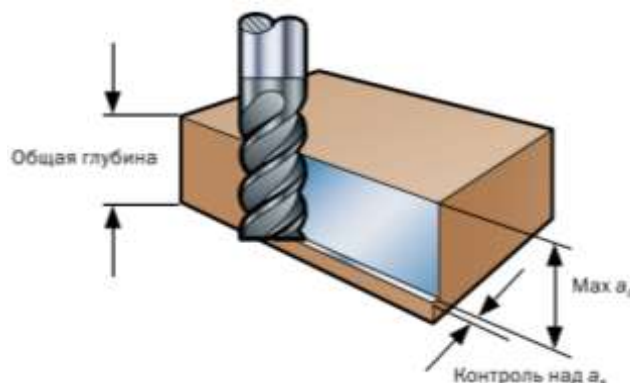


Рис. 2. Глубина резания при высокоскоростной обработке титана твердосплавными концевыми фрезами [4]

Конструкция режущего инструмента

Помимо особых требований к станку по обработке титана, высокие требования предъявляются к инструменту.

Режущий инструмент в основном применяется со сменными режущими пластинками из твердого сплава, которые можно многократно применять. Пластинки могут иметь дополнительное твердосплавное покрытие. При выборе покрытия необходимо руководствоваться такими требованиями как вязкость, твердость, стойкость к окислам и термическая стабильность, коэффициент трения, толщина слоя покрытия, напряженное состояние слоя. В настоящее время применяется титан-боровое покрытие (Ti B2) или титан-алюминиевые покрытия (Ti Al, Ni). По опыту фирм Германии эти покрытия дают возможность вести обработку с большими скоростями резания и повышают производительность [2].

В качестве примера можно привести новый сплав в виде индексируемой режущей пластины от компании WIDIA, который идеально подходит для обработки титана и других суперсплавов. Кобальтовая основа сплава WS40PM обеспечивает высокое усталостное сопротивление и прочность кромок, а покрытие AlTiN-TiN, нанесенное методом осаждения паров, повышает износостойкость инструмента, делая его оптимальным для обработки поверхностей заготовок из титановых сплавов [5].

1. Применение высокоскоростных фрез для обработки титана

Высокоскоростные фрезы в последние годы начали активно использоваться для обработки деталей из титановых сплавов.

Ключевая особенность высокоскоростных фрез – пластины с большим радиусом закругления кромки (рис. 3), способствующим распределению образуемой стружки по увеличенной площади контакта. Благодаря этому при осевой глубине резания 1 мм возможно образование стружки толщиной всего 0,2 мм. В случае титана такая тонкая стружка устраняет необходимость в низкой подаче на зуб, обычно используемой для данного металла. Таким образом, становится возможным установка скоростей подачи значительно выше стандартных.

Благодаря особой геометрии режущей кромки, высокоскоростная фреза позволяет использовать утонение стружки для достижения более высоких скоростей подачи.

По заявлениям компании Stellram, конструкция изображенной на рис. 3 высокоскоростной фрезы при обработке высокотемпературных аэрокосмических сплавов обеспечивает скорость подачи, превышающую скорость фрезерных инструментов традиционной конструкции в пять раз [6].



Рис. 3. Высокоскоростная фреза компании Stellram [6]

Наибольшая эффективность обработки круглыми пластинами и пластинами с большим радиусом при вершине (рис. 4) достигается в случае, когда главный угол в плане (k_r) не превышает 60° . Для работы с большой глубиной резания лучше подойдут квадратные пластины с постоянным значением угла в плане (k_r), равным 45° .

Толщина срезаемой стружки (h_{ex}) для круглых пластин варьируется в зависимости от главного угла в плане и ширины фрезерования [4].

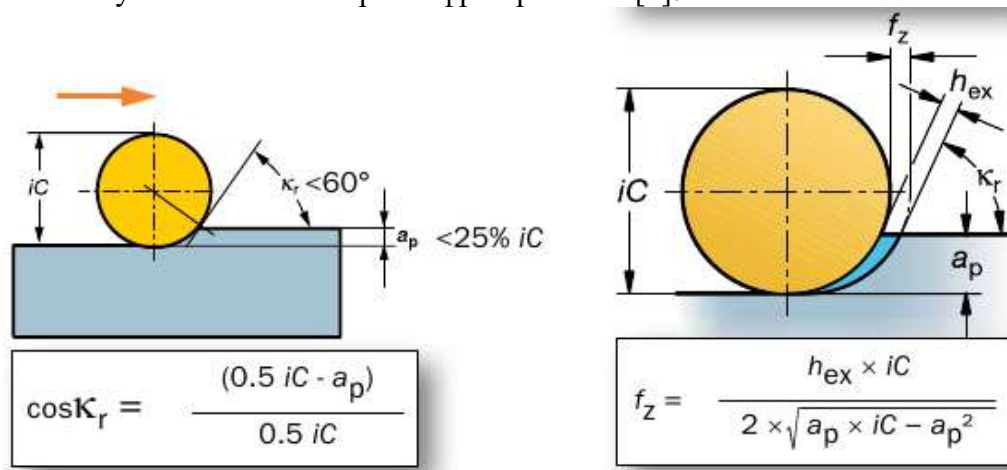


Рис. 4. Круглые пластины инструментального материала и пластины с большим радиусом закрепления, применяемые при фрезеровании титановых сплавов [4]

2. Обработка фрезами с большим вспомогательным задним углом

Острая режущая кромка минимизирует усилие резания титана, но при этом она должна быть достаточно прочной, чтобы выдержать давление резания.

Конструкция инструмента с большим вспомогательным задним углом, где первая область кромки с положительным углом наклона принимает на себя нагрузку, а следующая за ней вторая область с большим углом увеличивает зазор, позволяет решить обе эти задачи (рис. 5). Такая конструкция довольно широко распространена, но именно в случае титана экспериментирование с различными величинами вспомогательного заднего угла позволяет достигнуть существенного увеличения производительности и срока службы инструмента [6].

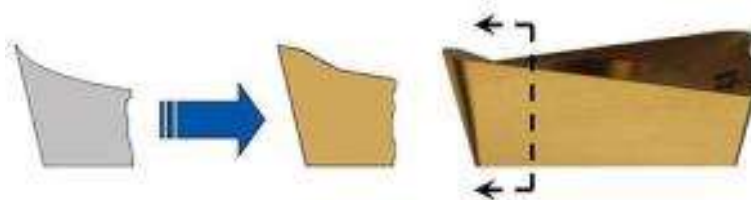


Рис. 5. Зуб фрезы с большим вспомогательным задним углом [6]

3. Увеличение количества зубьев в концевых фрезах

Обычные концевые фрезы имеют четыре или шесть зубьев. Для титана этого может быть недостаточно. Наибольшую эффективность обработки данного металла обеспечивает инструмент с десятью или более зубьями [6].

Увеличение количества зубьев устраняет необходимость снижения подачи на зуб. При этом в большинстве случаев слишком близкое расположение зубьев в десятизубой фрезе не обеспечивает достаточно пространства для отвода стружки. Тем не менее, продуктивному фрезерованию титана способствует малая площадь контакта, и

образующаяся в результате тонкая стружка дает возможность использовать многозубые концевые фрезы для повышения производительности [6].

Параметры срезаемого слоя при фрезеровании титановых сплавов

Кроме правильного выбора конструкции и размеров фрез, существенное влияние на результаты оказывает схема обработки. Общим правилом является исключение или, в крайнем случае, минимизация встречного фрезерования. Особо это относится к фрезам диаметром больше 50 мм, где динамическое упрочнение титана многократно сокращает стойкость режущей кромки [2].

Максимальная толщина стружки является одним из важнейших параметров, определяющих производительность и надежность процесса фрезерования.

Занижение допустимой толщины срезаемой стружки (h_{ex}) в большинстве случаев является причиной низкого уровня производительности. Также это негативно сказывается на стойкости инструмента и процессе стружкодробления [4].

Слишком высокое значение толщины срезаемого слоя будет перегружать режущую кромку, в результате чего может произойти ее поломка.

Эффект утонения стружки позволяет увеличить подачу в трех случаях:

- 1) при использовании пластин с прямолинейными режущими кромками и углом в плане менее 90° ;
- 2) при использовании круглых пластин или пластин с большим радиусом при вершине при небольшой глубине резания (a_p);
- 3) при работе периферийной частью фрезы с небольшой шириной фрезерования (a_e / D_c).

Большая толщина стружки на выходе пластины из резания негативно сказывается на стойкости инструмента, так как резкая смена характера нагрузок со сжимающих на растягивающие приводит к выкрашиванию вершины пластины.

Необходимо обеспечить образование как можно более тонкой стружки на выходе из резания [4]. Это достигается применением схемы попутного фрезерования, при которой вход в заготовку происходит с максимальной толщиной среза, а выход – с минимальной. При фрезеровании периферией фреза создает толстую стружку на входе для максимального поглощения тепла и тонкую стружку на выходе для предотвращения налипания стружки [6].

При фрезеровании торцом фрезы получение более тонкой стружки на выходе из резания связано с выбором положения фрезы относительно заготовки (рис. 6).

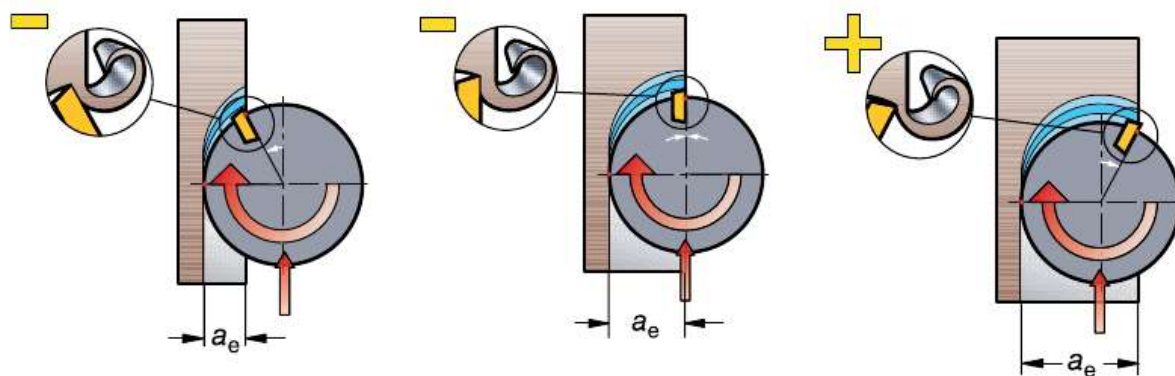


Рис. 6. Изменение толщины стружки в зависимости от положения фрезы относительно заготовки [4]

Таким образом, при выборе схемы фрезерования, положения фрезы при обработке и назначении толщины среза необходимо обеспечивать образование как можно более тонкой стружки на выходе лезвия инструмента из зоны резания.

Выводы

1. Высокопроизводительную обработку титановых сплавов возможно выполнять только на высокопроизводительном оборудовании, отличающемся высокой жёсткостью конструкции.

2. Для распределения образуемой при фрезеровании стружки по увеличенной площади контакта рекомендуется применять круглые пластины инструментального материала и пластины с большим радиусом закругления кромки.

3. Для обеспечения прочности режущих пластин при обработке титановых сплавов на фрезах формируется одновременно малый и большой вспомогательный задний угол, при этом первая область режущей кромки с малым положительным углом принимает на себя нагрузку, а следующая за ней вторая область с большим углом увеличивает зазор между инструментом и обработанной поверхностью.

4. Для повышения стойкости инструмента необходимо обеспечить образование как можно более тонкой стружки на выходе лезвия инструмента из зоны резания. При этом управлять толщиной стружки возможно не только для традиционно применяемой схемы встречного фрезерования, но и для попутного фрезерования, изменяя положение фрезы относительно заготовки.

Список литературы: 1. Колачев, Б.А. Титановые сплавы разных стран / Б.А. Колачев, И.С. Польшкин, В.Д. Талалаев. Справочник. – М.: ВИЛС, 2000. – 316 с. 2. Высокопроизводительная обработка титановых и жаропрочных сплавов. – Режим доступа: <http://mirprom.ru/public/vysokoproizvoditelnaya-obrabotka-titanovyh-i-zharoprochnyh-splavov.html>. 3. Фрезерование деталей из титановых сплавов. – Режим доступа: <http://engineerix.com.ua/frezerovaniya-detalej-iz-titanovyh-splavov/>. 4. Обработка титана. Техническое руководство. – Sandvik Coromant Россия/ СНГ, 2011. – 136 с. 5. WIDIA WS40PM: Термостойкий и прочный / Твердый сплав. Первый онлайн журнал в России, посвященный инструментальному обеспечению производства. – 7 ноября 2016 г. – Режим доступа: <http://tverdysplav.ru/widia-ws40pm-termostojkij-i-prochnyj/#more-14419>. 6. Фрезерование титана: 10 советов по обработке. Источник материала: перевод статьи 10 Tips for Titanium, Modern Machine Shop Автор статьи-оригинала: Питер Зелински (Peter Zelinski). – Режим доступа: <http://tverdysplav.ru/frezerovanie-titana-10-sovetov-po-obrabotke/>.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ШЛИФОВАНИЯ ХРУПКИХ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ, СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Узун В.И., Поезд С.А. (кафедра МСМО, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

Аннотация. В статье рассмотрены и проанализированы эксперименты и исследования выделяемых температур в зоне обработки при алмазном шлифовании хрупких неметаллических материалов.

Ключевые слова: шлифование, хрупкий неметаллический материал, правка, режим резания, смазочно – охлаждающая технологическая среда.

Введение

Техническое переоснащение производства, необходимое для подъема экономики страны, связано с разработкой, созданием и внедрением новых материалов и эффективных технологий их обработки. Из – засвоих уникальных свойств все большее применение находят неметаллические кристаллические, аморфные и получаемые по керамической технологии или горячим прессованием материалы. Область применения керамики, ситаллов, различных ферромагнитных материалов, органических и неорганических стекол простирается от космической техники, летательных аппаратов, радиоэлектроники, средств связи, автоматики, до отдельных приборов и деталей машин.

Низкая обрабатываемость заготовок из неметаллических материалов, таких как техническая керамика, в частности, ее разновидность – ситаллы, обусловленная спецификой их свойств (повышенной твердостью и хрупкостью, малой теплопроводностью и доменной структурой), затрудняет получение из них высококачественных деталей. Основными операциями формообразования материалов является шлифование, а основным методом – алмазное шлифование.

Цель работы и задачи исследования. На основе исследований и экспериментов определить факторы, влияющие на температуру при алмазном шлифовании хрупких неметаллических материалов.

Основное содержание работы

Установлено [1], что при обработке ситаллов в силу твердости обрабатываемого материала режущая способность круга быстро снижается и через 5-10 мин обработки достигает предельного минимального уровня. На черновых этапах обработки высокая производительность достигается за счет интенсификации режима и применения глубинного шлифования, при котором уровень выступания зерен из связки существенно меньше, чем глубина шлифования. В этом случае обработка сопровождается трением металлической связки по поверхности шлифуемого образца, что, по данным Д.Б. Ваксера [3], сопровождается ростом температуры в зоне контакта, усиливающей адгезию между связкой круга и поверхностью керамики, вызывая ее почернение.

Силы резания и температура играют при шлифовании важную роль. От их значений зависит выбор оптимальных технологических параметров шлифования и качество обработанной поверхности. Вопросам изучения температурного фактора в процессе шлифования уделялось значительное внимание и многими авторами успешно теоретически и экспериментально исследовались тепловые процессы, возникающие при шлифовании металлов [5, 6, 7], твердых сплавов [8], а также определялся температурный порог при эксплуатации лезвийного инструмента из различного вида керамик [9]. Однако, при шлифовании конструкционных керамик и ситаллов физика процесса диспергирования материала припуска иная по сравнению с обработкой металлов, что связано, в первую очередь, со структурой, физико-механическими свойствами и характе-

ром разрушения этих материалов при резании. Это затрудняет использование уже разработанных методик определения температур, возникающих в зоне шлифования при обработке металлов, при изучении тепловых явлений, связанных с обработкой ситаллов. Имеются не многочисленные работы, посвященные исследованию контактных температур, зависящих от условий шлифования.

В одном из исследований [2], эксперимент проводился при реализации схемы плоского врезного шлифования ситалла АС – 418 на станке 3672 алмазным кругом 1А1200х10х3х75 А 250/200–4–М2–01. Использовались два круга, с разной высотой выступающих зерен. Шлифование осуществлялось при вариации параметров режима в диапазонах: скорость резания $v = (23 - 41)$ м/с; подача $s = (1,1 - 4,47)$ м/мин; глубина резания $t = (0,1 \dots 0,4)$ мм. При минимальном уровне t величина выступающих зерен из связки достаточно велика и взаимодействие ее с образцом сведено к минимуму. При максимальном уровне t (глубинное шлифование) обработка сопровождается трением связки по образцу. Эксперимент показал, что в условиях чистового шлифования (максимальная v , минимальные значения s и t) применение кругов с высокой режущей способностью вдвое снижает температуру T в зоне резания и нормальную составляющую силы резания P_y , что положительно сказывается на дефектности формируемой поверхности [1]. При этом увеличение глубины резания сопровождается ростом T и силы резания, что представлено на рисунке 1, и свидетельствует о значительном влиянии состояния круга на процесс резания.

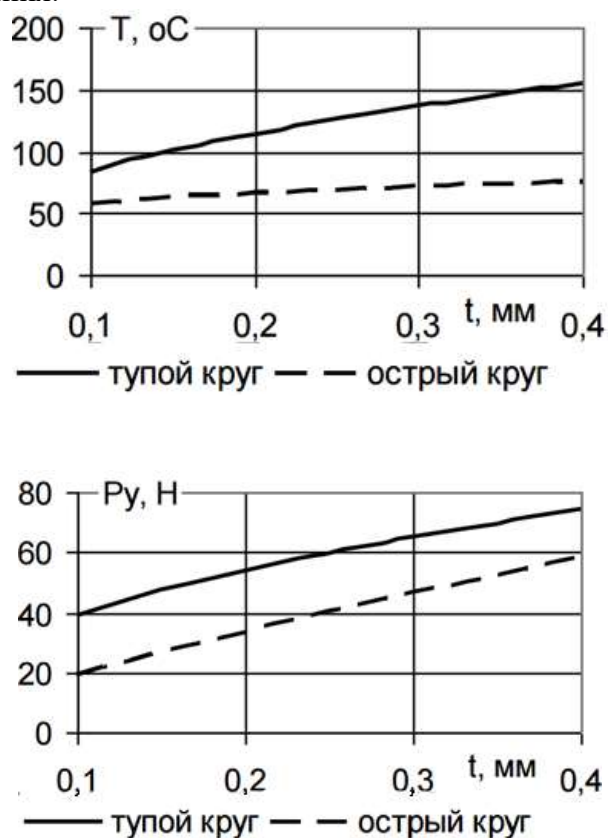


Рисунок 1 - Влияние режущей способности круга и глубины резания на температуру в зоне обработки и радиальную составляющую силы резания P_y . Режимы обработки: $s - 1,1$ м/мин, $v - 23$ м/с, $t = 0,4$ мм [2]

Также согласно результатам исследований [10], с увеличением величин параметров режима шлифования (v , t , s), уменьшением максимального размера зерна и уменьшением концентрации алмазов в круге, контактная температура при обработке керамики и ситаллов увеличивается (рисунок 2); круги на металлической связке при об-

работке материалов дают в 1,5-3,0 раза большие контактные температуры, чем круги на органической связке.

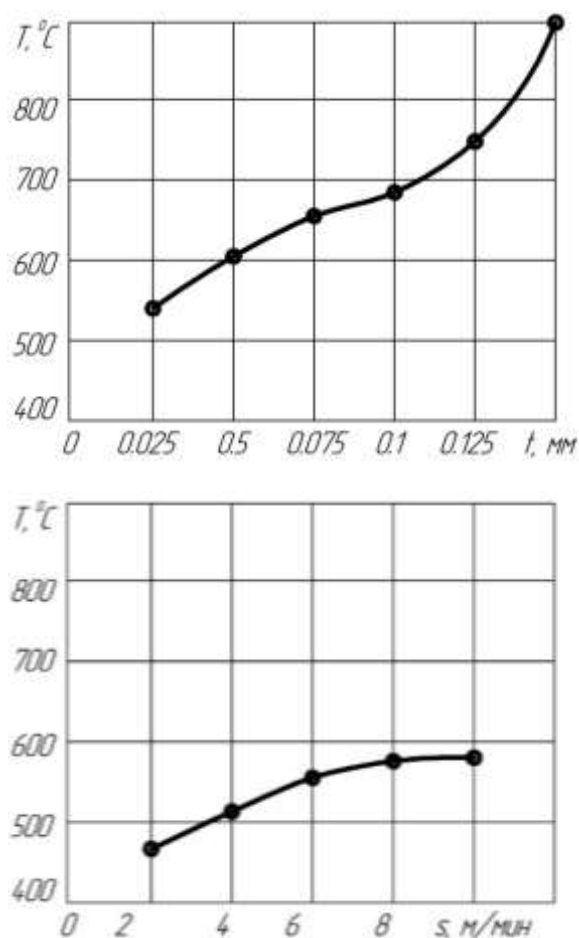


Рисунок 2 - Зависимость температуры в зоне шлифования керамики Al_2O_3 от параметров режима резания при обработке кругом АС6-125/100-М2-01: а – от глубины шлифования ($v=36,6$ м/с; $s=8$ м/мин); б – от продольной подачи ($v=36,6$ м/с; $t=0,1$ мм) [11]

В ходе исследования [12] известно, что при алмазной обработке нитридной керамики в процессе срезания стружкис поверхности образцов участвуют не более 25 % зерен, а остальные пассивные зерна — проскальзывают по поверхности керамики и, за счет трения, нагревают до высоких температур поверхностный слой образцов, в том числе межзеренную аморфную фазу обрабатываемого материала. Высокотемпературное размягчение этой фазы приводит к изменению структуры керамики и интенсивному росту сетки микротрещин вглубь материала. Параллельно с этим протекает высокотемпературное окисление межзеренной аморфной фазы в поверхностном слое нитридной керамики, сопровождаемое изменением исходной ее микроструктуры, ослаблением прочности связей между поверхностными зернами нитрида кремния и в некоторых случаях к их самопроизвольному вырыву из каркаса [13, 14]. Ослабление связей между соседними поверхностными зернами нитрида кремния приводит к хрупкому разрушению поверхности при последующем механическом воздействии со стороны активных зерен круга.

Как и режимы шлифования, на образование температуры в зоне обработки влияет смазочно – охлаждающая технологическая среда (СОТС). Охлаждающее действие СОТС оказывает существенное положительное воздействие на процесс шлифования. Однако влияние сред на температуру в зоне обработки хрупких неметаллических материалов исследовано недостаточно. По данным работ Хрулькова В. А. [15], при плоском чистовом шлифовании керамики (глубина резания t не более 0,125 мм) применение СОТС снижает температуру в среднем на 2—10% по сравнению с обработкой всухую. С увеличением скорости продольной подачи $s_{пр}$ влияние СОТС более значительно, обеспечивая снижение температуры на 20—22%. Однако, как показали исследования Калафатовой Л.П. и Поезд С.А. [16], при черновом шлифовании стеклокристаллической керамики - ситалла (глубина резания $t=(0,1 - 0,4)$ мм.) с применением СОТС (вода) температура в зоне контакта уменьшается на 60- 70% (рисунок 3).

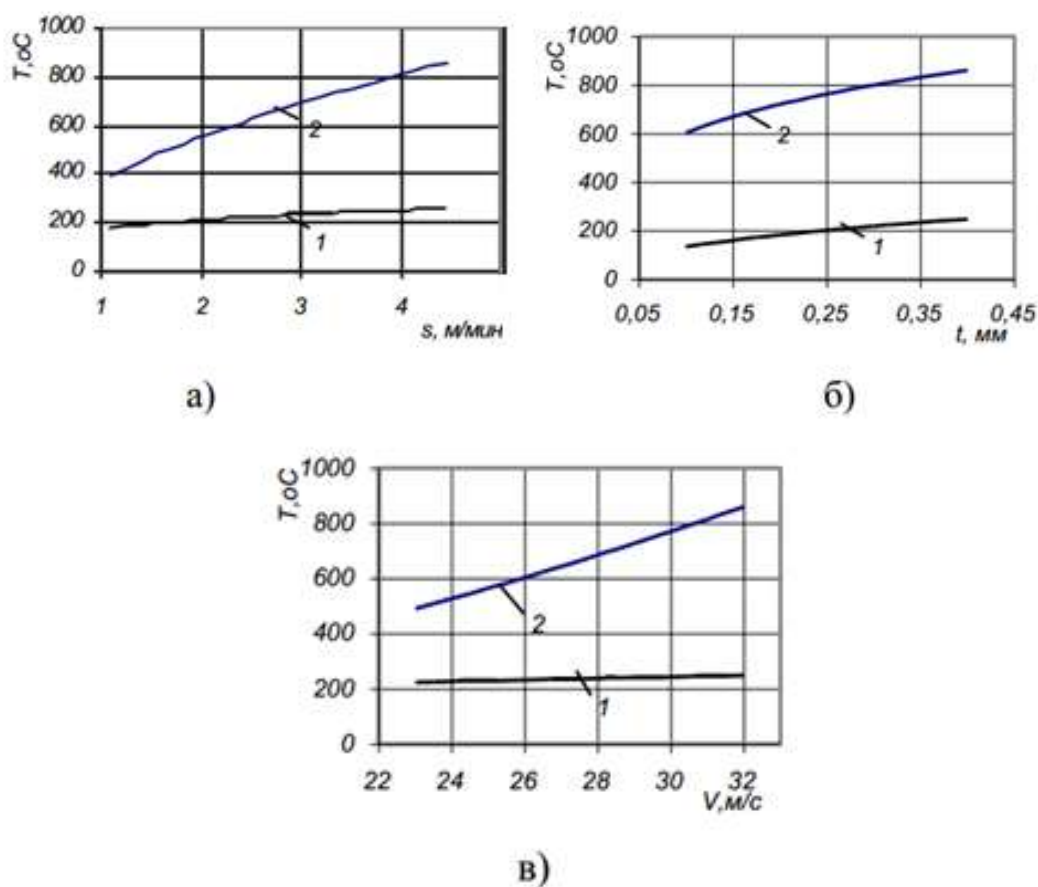


Рисунок 3 - Зависимость температуры от параметров режима обработки при плоском шлифовании ситалла кругом АС6 - 125/100 -4 – М2-01 с охлаждением (1) и «всухую» (2). Режимы обработки: а) - $v_k=23$ м/с, $t=0,4$ мм; б) - $v_k=23$ м/с, $s_{пр}=4,47$ м/мин в) $s_{пр}=4,47$ м/мин, $t=0,4$ мм [16]

Вывод

Для обеспечения минимальной дефектности поверхностного слоя заготовки из хрупкого неметаллического материала, что возможно при минимизации температуры шлифования, необходимо проводить обработку кругами с высоким уровнем режущей способности. Минимизация температуры достигается за счет оптимальных режимов обработки (s, t) и применения СОТС.

Необходимо более детально изучить распределение температуры в теле детали при алмазном шлифовании хрупких неметаллических материалов, в частности ситаллов.

Список литературы: 1. Калафатова, Л. П. Влияние степени износа алмазного инструмента на дефектность поверхности изделий из ситаллов // Л. П. Калафатова. – Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Междунар. сб. научн. трудов. – Донецк: ДонГТУ. – 1998. – Вып. 5. – С. 77–81. 2. Калафатова Л.П. Влияние режущей способности круга на температуру и силы при алмазном шлифовании ситаллов / С. А. Поезд, Л. П. Калафатова // Проблемы качества машин и их конкурентоспособности: Материалы 6-й Международной научно-технической конференции, г. Брянск, 22-23 мая 2008г. – Брянск: БГТУ, 2008. – С. 204-205. 3. Ваксер, В.А. Алмазная обработка технической керамики // Д.Б. Ваксер, В.А. Иванов и др. – Л.: Машиностроение, 1976. – 160с. 4. Старов В. И. Исследование процессов и создание средств технологического обеспечения дискретного шлифования неметаллических материалов // В. И. Старов. – Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук Старова Виталия Николаевича. – Воронеж, 1997. 5. Kato T. Temperature measurement of work pieces in conventional surface grinding/ T. Kato, Hiroshi Fujii // Journal of manufacturing science and engineering, МАУ 2000 - р 297-303. 6. Ли Чжень. Моделирование процесса шлифования/ Чжень Ли // Современное машиностроение – 1989 - №8, серия Б. - С 36 – 44. 7. Худобин Л. В. Теплонапряженность в зоне резания при внутреннем шлифовании / Л. В. Худобин, Н. И. Веткасов, Д. А. Коршунов // СТИН - 2003. - № 3. - С. 23-26. 8. Африкян Т. Г. Работоспособность экструдированных шлифовальных кругов в зависимости от режимов резания/ Т. Г. Африкян // Машиностроитель. – 2005. - №11. – С. 49. – 50. 9. Коломейцев В. В. Основы теории теплового удара в акустическом диапазоне волн напряжений / В. В. Коломейцев, Е. Ф. Коломейцева // Огнеупоры и техническая керамика. - 1999 - №1-2. С. 62-67. 10. Ардамацкий А. Л. Алмазная обработка оптических деталей. /А. Л. Ардамацкий . – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд–ние, 1978. – 232 с. 11. Хрульков В. А. Алмазные инструменты в прецизионном приборостроении / В. А. Хрульков, А. Я. Головань, А. И. Федотов - М: Машиностроение , 1977 – 222с. 12. Кузин В. В. Технологические особенности алмазного шлифования деталей из нитридной керамики/ В.В. Кузин // Вестник машиностроения. – 2004. - №1. - С. 37–41. 13. Кузин В. В. Работоспособность режущих инструментов из нитридной керамики при обработке чугунов / В. В. Кузин // Вестник машиностроения - 2004. №5. С. 39-43. 14. Журавлева Н. В. Керамика на основе нитрида кремния/ Н. В. Журавлева , Е. С. Лукин // Огнеупоры – 1993 - №1.- С. 6-11. 15. Хрульков В. А., Головань А. Я., Федотов А. И. Алмазные инструменты в прецизионном машиностроении.- М: Машиностроение, 1977. – 223 с. 16. Калафатова Л.П. Влияние смазочно-охлаждающих технологических сред на процесс шлифования хрупких неметаллических материалов / С. А. Поезд, Л. П. Калафатова // Сучасні технології у машинобудуванні: До ювілею Ф.Я. Якубова: Зб. наук. статей. – Харків: НТУ «ХП», 2007. – С. 87-96..

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ШПИНДЕЛЕЙ ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ, КОТОРЫЕ ВЛИЯЮТ НА МИКРОГЕОМЕТРИЮ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Чернорай А.А., Полтавец В.В. (кафедра МСМО, ДонНТУ, г. Донецк,)

Аннотация. В статье рассмотрены и проанализированы особенности конструкций шпиндельных узлов, динамические характеристики шпиндельных узлов, влияющие на качество обработанной поверхности и конструкции шпиндельных опор.

Ключевые слова: шпиндельный узел, шпиндель, шлифовальный станок, динамическая жесткость, демпфирующие свойства, подшипник

Введение

Шпиндельный узел металлорежущих станков предназначен для осуществления главного вращательного движения шпинделя с необходимой частотой вращения. В шпиндельных узлах выполняются закрепление и вращение режущих инструментов (в сверлильных и фрезерных станках) и обеспечивается их заданное положение по отношению к другим узлам станков.

Конструкция шпиндельного узла должна быть такой, чтобы наряду с выполнением комплекса технологических команд достигалось сохранение точности вращения шпинделя, исключая осевое и торцовое биение, а также суммарной жесткости всего узла для предотвращения деформирования. Конструктивная форма шпинделя определяется типом и назначением станка, требованиями к его точности, условиями работы шпинделя, способами закрепления в нем инструмента или заготовки, размещением элементов привода и типом применяемых опор [1].

Целью данной работы является рассмотрение и анализ особенностей конструкций и динамических характеристик шпиндельных узлов шлифовальных станков, которые влияют на микрогеометрию обработанной поверхности.

Основное содержание работы

Шпиндельные узлы предназначены для осуществления точного вращения инструмента или обрабатываемой детали. Они входят в несущую систему станка и в значительной мере определяют ее жесткость и виброустойчивость.

Шпиндельный узел станка состоит из шпинделя, его опор, приводного элемента. В шпинделе выделяют передний конец и межопорный участок. На шпиндель действуют нагрузки, вызываемые силами резания, силами в приводе, а также центробежными силами, возникающими от неуравновешенности вращающихся деталей самого шпиндельного узла [1].

Размеры шпинделя, его длина и диаметр, расстояние между опорами, упругие и демпфирующие параметры опор определяют инерционные и собственные жесткостные и диссипативные характеристики шпиндельного узла и формируют собственную амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) шпиндельного узла.[2]

В процессе эксплуатации станка шпиндельный узел передает инструменту или заготовке крутящий момент, необходимый для осуществления процесса резания. Мощность привода главного движения, передаваемая шпиндельным узлом достигает 150 кВт, частоты вращения шпинделей современных станков на подшипниках качения достигают 30000 об/мин и более, а величины действующих сил резания – 30000 Н [3].

К шпиндельным узлам предъявляются следующие требования:

- точность вращения устанавливается соответствующими ГОСТами в зависимости от типа и назначения станка. Регламентируются следующие параметры: радиальное биение центрирующей шейки шпинделя, конического отверстия, осевое биение шпинделя, торцевое биение опорного буртика шпинделя;

- жесткость ГОСТами не регламентирована. Жесткость шпинделя устанавливается исходя из баланса жесткости станка (система СПИД). И эти нормы регламентированы ГОСТами. Наибольшее влияние на жесткость оказывает диаметр шпинделя. Межопорное расстояние влияет на деформацию шпинделя. При проектировании следует стремиться с одной стороны к увеличению жесткости (увеличение диаметра), с другой стороны при этом падает быстроходность. Результатом расчета на жесткость является величина прогиба конца шпинделя. А максимальный прогиб между опорами не больше 0,0002 от расстояния между опорами;

- виброустойчивость определяется динамическими свойствами – амплитудой колебаний переднего конца шпинделя и частотой собственных колебаний. Виброустойчивость станка на 40-50% определяется параметрами шпиндельного узла. Чем выше собственная частота и меньше резонансная амплитуда тем лучшими динамическими показателями обладает шпиндельный узел;

- быстроходность шпинделя определяется конструктивными и технологическими особенностями станка. Быстроходность оценивается по произведению частоты вращения шпинделя и диаметра переднего подшипника. ($n \times d$). Установка каждого дополнительного подшипника снижает быстроходность на 25%, применение керамических подшипников повышает быстроходность до 2х раз;

- несущая способность шпинделя;

Для большинства шпиндельных опор несущая способность и выбранная по критериям жесткость предельно допустимая статическая нагрузка подшипника соответствует предъявляемым к шпиндельным опорам требованиям, применяются опоры с высокой несущей способностью.

- долговечность шпиндельных опор ГОСТами не регламентируется. В паспорте устанавливается срок службы;

- теплостойкость. Допускаемый нагрев подшипников шпиндельных опор зависит от точности станка. ГОСТами устанавливается 50° плюс комнатная температура. Практикой установлены следующие значения для станков Н 60-70°, П 50-55°, В 40-45°, А 35-40°, С 28-30°. Нагрев опор приводит к изменению натяга в подшипниках, снижается несущая способность, уменьшается жесткость;

- быстрота и точность закрепления инструмента или заготовки в шпинделе, возможность автоматизации;

- минимальные затраты на изготовление, сборку, эксплуатацию шпиндельного узла.

Перечисленные требования могут быть обеспечены правильным выбором: материала и т/о, конструкции опор, допуска на размеры, технологические условия сборки и регулировки, правильная эксплуатация, своевременная (постоянная) смазка[4].

Важнейшие динамические характеристики ШУ:

- динамическая жесткость переднего конца шпинделя (радиальная и осевая);

- допустимый диапазон частот вращения (при неизменной регулировке подшипников);

- частоты собственных колебаний;

- демпфирующие свойства.[2]

От этих характеристик зависит точность вращения (радиальное и осевое биение) шпинделя; некруглость обработанной детали; потери на трение в подшипниках; температура и долговечность подшипников.

Для процессов шлифования, которые требуют высоких частот вращения шпинделя, существенное влияние на динамику обработки оказывает возбуждающий фактор в виде неуравновешенности шлифовального круга. Амплитуда вынужденных колебаний пропорциональна величине динамической податливости оправки с кругом на частоте их вращения. Таким образом, при формировании показателя динамического качества необходимо учитывать уровень динамических податливостей подсистем в диапазоне частот наиболее вероятных возмущений.

Другой важный фактор, влияющий на поведение динамической системы, - ее способность к демпфированию колебаний. В свою очередь, на демпфирующую способность системы оказывают влияние динамические связи между ее элементами. Общий уровень связанностей между подсистемами поддается расчету и может быть оценен некоторым коэффициентом связанностей. На основе выводов исследований в динамической системе шлифования [4] за счет ортогонально направленных связей, формирующихся на контактной площадке инструмента с изделием, создаются особые резонансные и антирезонансные области, которые должны учитываться при формировании показателя качества динамической системы.

Таким образом, динамические свойства системы шлифования в области зоны резания формируются под действием двух наиболее значимых факторов динамической системы: динамических податливостей подсистем в диапазоне частот возмущений и связанностей между подсистемами.

В итоге можно сделать заключение, что для обеспечения качества динамической системы необходимо обеспечить создание минимальной динамической податливости шпинделя для частоты его вращения, как наиболее значимой частоты возмущения.

Упруго-демпфирующие характеристики ШУ во многом зависят от выбора оптимального предварительного натяга подшипниковых опор и практическое его осуществление является одной из самых сложных проблем конструирования и производства шпиндельных узлов металлорежущих станков. Влияние предварительного натяга на процессы, протекающие в системе, на выходные параметры и работоспособность ШУ сводятся к следующим моментам:

- с увеличением предварительного натяга жесткость ШУ увеличивается. Однако существует граничное значение предварительного натяга, при котором дальнейшее его увеличение не дает заметного увеличения жесткости; [2]

- влияние величины натяга на тепловыделение в опорах неоднозначно. Для роликоподшипников увеличение предварительного натяга приводит к возрастанию момента трения и соответственно тепловыделения в опорах. У радиально-упорных и упорных подшипников до определенного значения предварительный натяг способствует уменьшению потерь на трение [5]. Дальнейшее увеличение предварительного натяга увеличивает трение и как следствие возрастает тепловыделение в опорах [6];

- зависимость между величиной предварительного натяга и долговечностью опор не может быть оценена без учета воздействия внешней нагрузки. Чем больше величина нагрузки, тем при большем натяге достигается наибольшая долговечность. Однако, при натягах, превышающих оптимальные по долговечности, ресурс и надежность резко снижаются [6];

- с повышением точности подшипников допустимый (по условиям нагрева и долговечности) предварительный натяг увеличивается. Вместе с тем для обеспечения

заданной жесткости в более точных подшипниках нужен меньший натяг, чем в менее точных подшипниках [6].

В шпиндельных узлах применяются опоры скольжения и качения.

К опорам скольжения относятся гидродинамические, гидростатические, воздушные опоры.

Гидродинамические опоры применяются когда требуется высокая и постоянная $V_{рез}$, схема устройства гидродинамических подшипников показана на рис. 1.

В шлифовальных станках наибольшее распространение получили гидродинамические многоклиновые сегментные опоры. В этих опорах несущие клинья образуются в результате самоустановки сегментов или демпфирования упругих элементов [9].

Недостатки:

- нестабильность положения оси шпинделя при изменении скорости вращения;
- повышенный износ в момент пуска и остановки;
- ограничения жидкости;
- создание систем для подкачки масла и удерживание его в опоре;
- сложность изготовления, монтажа, эксплуатации;

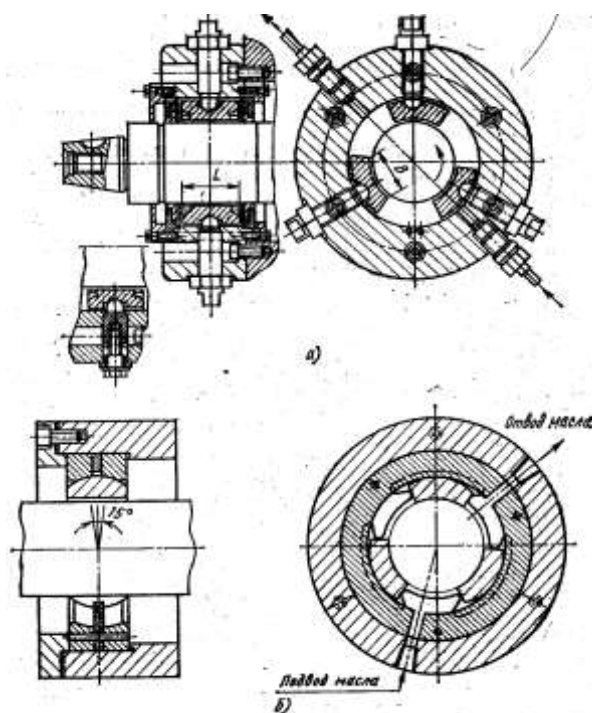


Рис. 1. Схема устройства гидродинамических подшипников [7]

Гидродинамический подшипник представляет собой опору жидкостного трения. Эти подшипники бывают радиальными и упорными. Радиальный подшипник имеет три или четыре сегмента (башмака). С помощью гидравлической системы опора заполняется маслом. Под действием силы тяжести невращающийся шпиндель опускается на сегменты. Когда шпиндель приводится во вращение, он своей шероховатой поверхностью увлекает масло в зазоры между ним к сегментами. Конструкция сегмента, в частности смещенное положение его опоры относительно оси симметрии, позволяет ему поворачиваться под действием давления масла, в результате чего образуется клиновидный зазор, сужающийся в направлении вращения шпинделя. В этом зазоре возникает гидродинамическое давление, удерживающее шпиндель во взвешенном положении. Если шпин-

дель вращается на многоклиновых подшипниках с самоустанавливающимися сегментами, охватывающими его равномерно по окружности, незначительное смещение его из среднего положения под действием внешней нагрузки приводит к перераспределению давления в клиновом зазоре и возникновению результирующей гидродинамической силы, уравнивающей внешнюю нагрузку [9]. Конструкция шпиндельных узлов предусматривает наличие масляной ванны, в которой полностью находятся опорные секторы подшипников. Масло, проходящее через фильтр очистки, подводится в нижней части споры и отводится сверху, что предохраняет от образования воздушной подушки и засасывания воздуха в несущий масляный слой, приводящий к беспорядочному радиальному блужданию шпинделя [10].

Гидростатические опоры обеспечивают высокую точность вращения, обладают высокой демпфирующей способностью, что значительно повышает виброустойчивость шпиндельного узла, имеют практически неограниченную долговечность, высокую нагрузочную способность при любой частоте вращения шпинделя. На рис. 2 показана схема устройства гидростатического подшипника. Гидростатические опоры могут быть использованы в качестве датчиков силы в системах адаптивного управления, в качестве приводов микроперемещений [7].

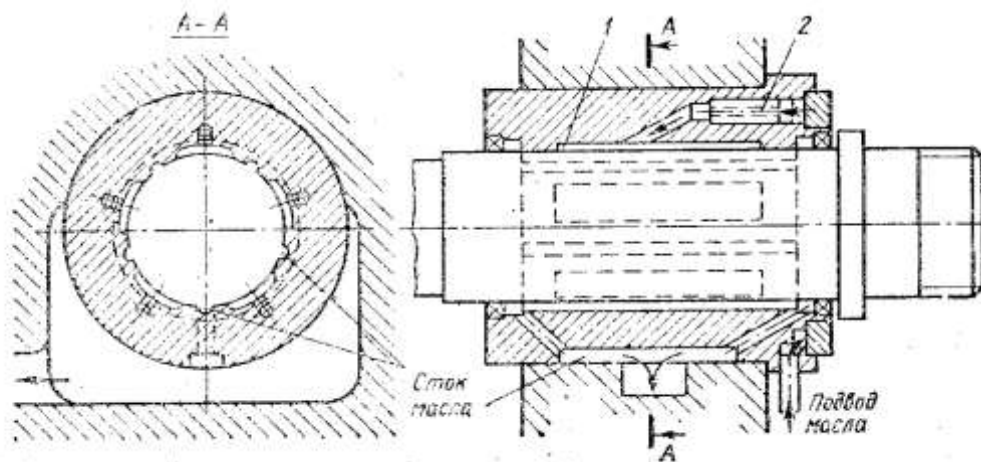


Рис. 2. Гидростатический подшипник [11]

Принцип действия гидростатического подшипника основан на том, что при прокачивании масла под давлением от внешнего источника через зазоры между сопряжёнными поверхностями в зазоре образуется несущий масляный слой, исключая непосредственный контакт поверхностей даже при невращающемся шпинделе. В радиальных подшипниках равномерно по окружности делают полости-карманы, куда через дроссели подаётся под давлением масло от источника питания (насоса). При приложении внешней нагрузки вал занимает эксцентричное положение, зазоры h в подшипнике перераспределяются, что приводит к увеличению давления p масла в одних карманах и уменьшению в противоположных. Уравнения давлений в карманах не происходит вследствие наличия дросселей на входе в каждый карман. Разность давлений создаёт результирующую силу F_c воспринимающую внешнюю нагрузку. Отвод смазочного материала производится через торцы подшипника, иногда и через дренажные канавки, выполненные на перемычках между карманами [7].

Подшипники с воздушной смазкой применяют в двух исполнениях: аэродинамические и аэростатические.

В аэродинамических подшипниках, работающих при подводимом давлении воздуха 1,0—1,5 МПа, неподвижный шпиндель взвешивается, а необходимая жесткость опоры приобретает при вращении шпинделя на высоких скоростях.

В аэростатических подшипниках подъемная сила создается только благодаря поддуву в кольцевые канавки сжатого воздуха [8].

Шпиндельные узлы (рис. 3) с такими опорами обладают следующими преимуществами по сравнению со шпиндельными узлами на опорах качения:

- высокой точностью вращения вследствие усредняющего действия газовой смазки (пленки);
- отсутствием металлического контакта, а, следовательно, и износа опор, что облегчает высокую долговечность при неизменном качестве шлифования;
- малым трением, обусловленным небольшой динамической вязкостью газа (что обеспечивает увеличение мощности, передаваемой на шлифовальный круг) и, следовательно, малым тепловыделением в опорах узла (что приводит к полному исключению времени, необходимого для разогрева шпинделя, и способствует увеличению производительности);
- почти полным отсутствием вибраций;
- возможностью балансировки круга непосредственно на шпинделе [10].

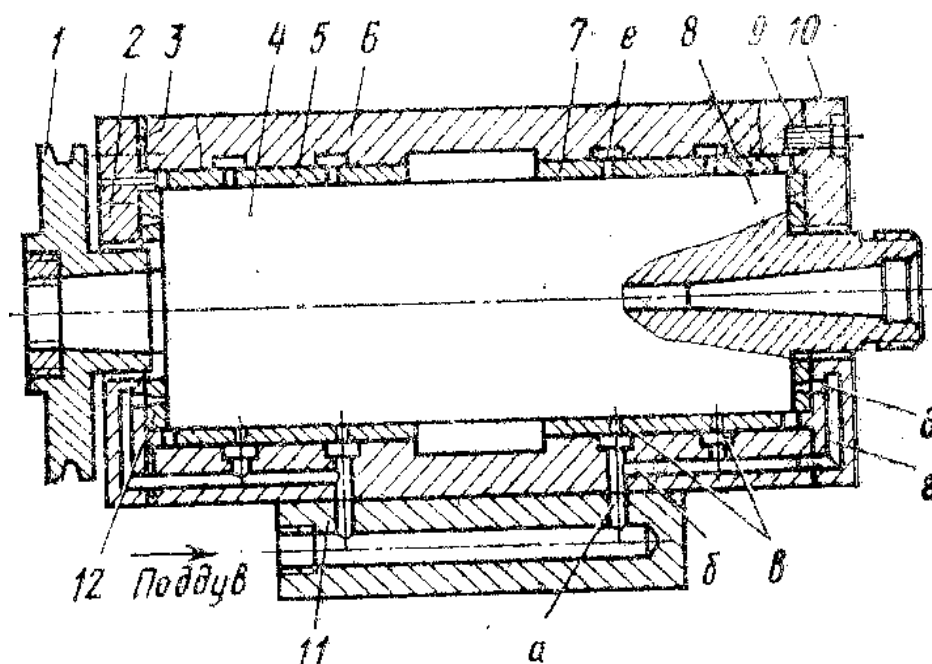


Рис. 3. Шпиндель на аэростатических опорах [12]

Подшипники с воздушной смазкой наиболее широко применяют в высокоскоростных шпиндельных узлах. Малая вязкость воздушной смазки позволяет достигать особо высоких скоростей вращения (до 300 000 мин⁻¹). К недостаткам таких опор относятся низкая устойчивость к ударным нагрузкам и малая демпфирующая способность.

Принцип действия простейших подшипников с газовой или масляной смазкой цилиндрической втулки без поддува сжатого воздуха поясняет рис. 4. Когда шип 1 не вращается, он лежит на дне подшипника 2 (рис. 4,а). При вращении шипа газ, увлекаемый его поверхностью, вгоняется в клиновидный зазор между шипом и подшипником. В результате сжатия в смазочном слое возникает давление, которое и отделяет шип от подшипника (рис. 4, б) [9].

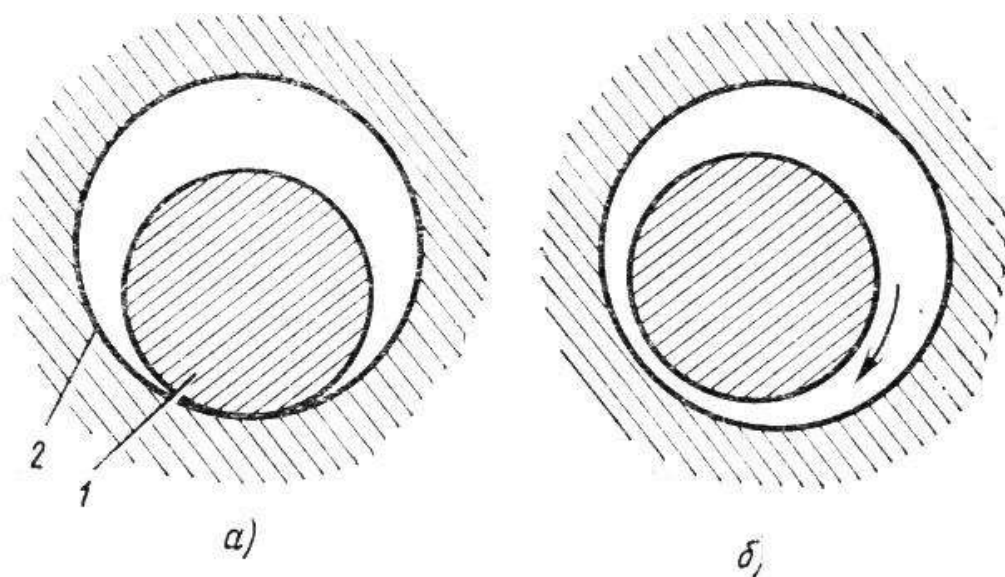


Рис. 4. Аэродинамический подшипник [9]

Главной отличительной особенностью внутреннего шлифования является то, что на процесс резания решающее влияние оказывают габариты изделия и в первую очередь диаметр шлифуемого отверстия. При шлифовании отверстий диаметр шлифовального круга всегда меньше диаметра отверстия. Условия работы такого круга весьма тяжелы, особенно при обработке отверстий малого диаметра. Чем меньше диаметр круга, тем зерна чаще вступают в контакт с заготовкой и несут большую нагрузку, круг быстрее изнашивается, засаливается, теряет режущие свойства и геометрическую форму. Вследствие этого необходимо часто производить правку круга. При малом диаметре круга очень трудно получить оптимальную скорость резания, так как для этого необходимо достигнуть очень высокой частоты вращения круга, что само по себе является весьма сложной задачей.

При шлифовании кругами малого диаметра их крепят на оправках еще меньшего диаметра. При большом вылете такой оправки жесткость ее невелика. Вследствие этого возрастает влияние радиальной составляющей силы резания на точность шлифования. Для повышения точности обработки следует уменьшать силы резания, для чего уменьшают подачу при шлифовании по сравнению, скажем, с круглым наружным.

Учитывая низкую жесткость шпинделя шлифовального круга, большее внимание следует уделять исходной неточности отверстия. Чем ниже жесткость технологической системы, тем в большей степени исходные погрешности заготовки копируются на обработанную поверхность отверстия. Разный припуск при большой партии одинаковых заготовок также отрицательно влияет на точность внутреннего шлифования. Это обстоятельство усложняет предварительную обработку отверстий под шлифование, заставляя в некоторых случаях делать дополнительные операции, например развертывание отверстий.

С уменьшением диаметра шлифуемого отверстия увеличивается дуга контакта шлифовального круга с заготовкой и ухудшаются условия охлаждения заготовки и инструмента. Для улучшения условий теплоотвода стремятся к увеличению скорости движения продольной подачи. Однако в связи с возрастанием инерционных сил движущихся масс это не всегда можно сделать.[13].

Выводы

Для обеспечения динамического качества ШУ необходимо обеспечить минимальную податливость переднего конца шпинделя на частоте его вращения, т.е. обеспечить минимальную амплитуду колебаний на заданной частоте.

Из приведенных качественных характеристик зависимости параметров работоспособности шпиндельного узла от величины предварительного натяга следует, что величина предварительного натяга может быть установлена лишь как компромисс между противоположными тенденциями, то есть существуют оптимальные значения предварительного натяга.

Список литературы:

1. Кирилин, Ю.В. Расчет и проектирование шпиндельных узлов металлорежущих станков с опорами качения: учебное пособие / Ю.В. Кирилин, А.В. Шестеринин - Ульяновск: УлГТУ, 1998, - 72 с.
2. Гаспаров, Э.С. Обеспечение динамического качества высокоскоростных шпиндельных узлов на основе моделирования и безразборной оценки состояния опор : Автореф. дис. ... канд. техн. наук:05.02.07 / Гаспаров Эрик Сергеевич; СамГТУ. – Самара., 2016. -22с.
3. Шестеринин, А.В. Конструирование шпиндельных узлов металлорежущих станков: учебное пособие / А.В. Шестеринин - Ульяновск: УлГТУ, 2006. - 96 с.
4. Кабалдин, Ю.Г. Хаотическая динамика технологических систем / Ю.Г. Кабалдин, А.И. Олейников / Вестник машиностроения. - 2013. № 4. - С. 71-74.
5. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Том 1. 9-е издание, переработанное и дополненное / В.И. Анурьев; под редакцией И.Н.Жестковой. – М: «Машиностроение», 2006. - 28 с.
6. Галахов, М.А. Расчет подшипниковых узлов / М.А. Галахов, А.Н. Бурмистров. - М.: Машиностроение, 1988. - 336 с.
7. http://gendocs.ru/v11755/лекции_-_станочное_оборудование?page=3.
8. <http://chiefengineer.ru/stanki/uzly-i-mehanizmy/oporyshpindeleystankov/>
9. http://metallischekiportal.ru/articles/rabota/profznania/ch2/osnovi_ustroistva_shlifovalnix_stankov/6
10. <http://works.doklad.ru/view/iilNTr6ty4g/6.html>
11. <http://tehna.net.ua/gidrostaticheskie-opori/>
12. <http://tehna.net.ua/shpindelnyie-uzlyi-stankov/>
13. http://metallischekiportal.ru/articles/obrabotka/shlifovka_i_polirovka/vnutrishlifovalnie_stanki/1

ПРИМЕНЕНИЕ 3D-ТЕХНОЛОГИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Шутов В.И., Грудева Л.Н.(ДонВГПУ, г. Донецк, ДНР)

***Аннотация.** В статье проведен аналитический обзор одной из наиболее перспективных на сегодняшний день технологий в машиностроении – технологии 3D печати сложных трехмерных моделей. Отмечены преимущества и недостатки наиболее распространенных технологий.*

***Ключевые слова:** 3D-технология, прототипирование, 3D-печать, технология машиностроения.*

Введение

Технический прогресс шагает по Земле семимильными шагами, входя практически во все области и сферы деятельности человека. Новые возможности появились после разработки и внедрения технологии 3D-печати и в машиностроительной отрасли. Это относительно новая технология для машиностроения, основанная на создании с помощью специальных устройств (3D-принтеров) физических объектов (моделей, макетов, образцов) по предварительно созданной виртуальной 3D-модели.

Проанализируем наиболее распространенные 3D-технологии.

Прототипирование

Создание качественного прототипа, максимально похожего на будущее изделие - весьма непростая задача. Приходится решать проблему точного повторения геометрической формы, собираемости, внешнего вида и поиска материалов, максимально похожих на заданные.

Построение прототипа (прототипирование) обычно происходит на основе твердотельной модели из САД-систем или модели с замкнутыми поверхностными контурами. Эта модель разбивается на тонкие слои в поперечном сечении с помощью специальной программы, причем толщина каждого слоя равна разрешающей способности оборудования по z-координате. Обычно при разбиении дается припуск на механическую обработку. Построение детали происходит послойно до тех пор, пока не будет получен физический прототип [1].

Прототипирование начинается с того, что создается компьютерная твердотельная модель продукта, а завершается изготовлением конечного варианта, с использованием какой-либо методики. Компьютерная модель создается при помощи одной из программ 3D-моделирования, а затем сохраняется в одном из перечисленных форматов: STL, WRL, PLY, 3DS. Созданная модель печатается на специально предназначенном для этого принтере.

Основным различием между 3D-технологиями является прототипирующий материал, а также способ его нанесения.

На сегодняшний день в мире наибольшее распространение получили две технологии 3D-печати – лазерная и струйная [2]. Лазерные технологии подразделяются на: стереолитографию; селективное лазерное спекание; ламинирование или послойное формирование моделей из листового материала. К струйным технологиям относится моделирование методом наплавления.

Стереолитография

Схема, описывающая процесс 3D-печати стереолитографическим способом, показана на рис. 1. В рабочей емкости 3D-принтера находится специальная жидкость –

фотополимер 6. Фотополимеры имеют одну особенность – под действием света, а именно ультрафиолетовой части его спектра, они либо затвердевают (полимеризуются) практически мгновенно (как в нашем случае на рис. 1), либо же приобретают новые уникальные свойства, например, способность противостоять воздействию агрессивных сред, растворителей (такие фотополимеры, например, широко применяются при производстве печатных плат и называются фоторезистами). Жидкие фотополимеры сегодня часто используются для изготовления печатей и штампов. С фотополимерами большинство из нас встречалось в повседневной жизни – при посещении стоматологических кабинетов и установке так называемых фотополимерных пломб.

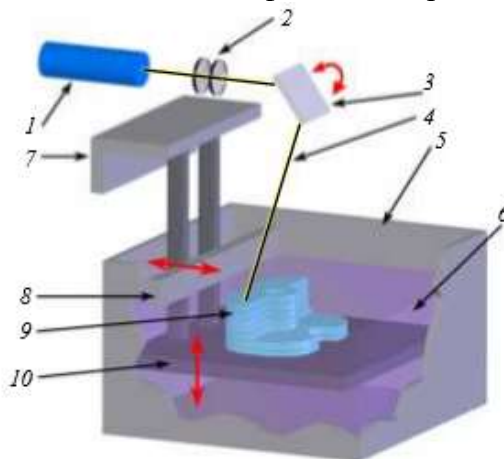


Рис. 1. Схема процесса 3D-печати стереолитографическим способом:

1 – лазер; 2 – фокусирующие линзы; 3 – вращающееся зеркало; 4 – лазерный луч; 5 – рабочая емкость; 6 – жидкий полимер; 7 – мобильный подъемник; 8 – очиститель-выравниватель; 9 – деталь; 10 – мобильная платформа с деталью [2]

Для перехода жидкого фотополимера 6 в твердое состояние в установке используется ультрафиолетовый лазер 1. Лазерный луч 4, пройдя через фокусирующие линзы 2, попадает на вращающееся зеркало 3, которое направляет луч в рабочую емкость 5 с жидким фотополимером 6. Фотополимер подается в рабочую зону дозированно в небольшом количестве и тонким слоем (несколько десятков микрон). Луч лазера проходит не по всей области (слою) фотополимера, а попадает лишь на те участки, которые подлежат затвердеванию. Данные участки задает специальная компьютерная программа по виртуальной модели. Таким образом, лазерный луч как бы "сканирует" рабочую плоскость фотополимера и формирует отдельные твердые участки слоя детали, пока не воспроизведет на пластике одно из сечений будущей модели.

После окончания обработки одного сечения детали над всей поверхностью проходит очиститель-выравниватель 8 и убирает слой неиспользованного фотополимера. Далее необходимо "нарастить" следующий слой детали, для чего мобильная платформа вместе со сформированной частью детали 10 полностью погружается в ванну с фотополимером, тем самым подготавливая основу для следующего слоя (сечения) детали. Таким образом, поверх предыдущего слоя лазерным лучом "рисуются" следующий слой, пока трехмерная модель не будет воспроизведена полностью.

Эта технология обеспечивает высокую точность "печатаемой" детали – порядка 100 мкм; позволяет воспроизводить как мелкие детали сложной формы, так и довольно крупные; обеспечивает низкую шероховатость поверхности. Недостатками стереолитографии являются, прежде всего, высокие цены установок и расходных материалов; хрупкость полученных моделей.

Селективно лазерное спекание

В этой технологии также применяется источник лазерного излучения, однако в качестве рабочего материала применяется не жидкий фотополимер, а мелкодисперсный сыпучий порошок легкоплавкого пластика. На рис. 2 показана схема, описывающая процесс 3D-печати с помощью селективного лазерного спекания. На начальном этапе работы точно также лазерный луч 4 проходит не по всему слою пластикового порошка 6, который подается в рабочую зону дозированно в небольшом количестве и тонким равномерным слоем с помощью выравнивающего валика 7, а попадает лишь на участки детали 5, которые подлежат запеканию, формируя, тем самым, одно из сечений будущей модели. Пластиковый порошок 6 с помощью поршней 9 поступает из специальных картриджей 8, размещенных на установке с двух сторон. В рабочей зоне пластиковый порошок нагревается практически до температуры плавления. Во избежание его воспламенения и окисления в рабочую камеру 10 подается защитный газ, в качестве которого, как правило, применяется азот. На следующем этапе мощный лазерный луч установки формирует на поверхности разрабатываемого объекта текущий слой толщиной около 50-100 мкм. Под тепловым воздействием лазерного луча предварительно разогретый пластиковый порошок нагревается уже выше температуры плавления и спекается. Затем мобильная платформа 10 с деталью 5 с помощью поршня 11 опускается на толщину одного слоя и в рабочую зону валиком 7 вновь поступает равномерный слой пластикового порошка 6 и операция повторяется снова.

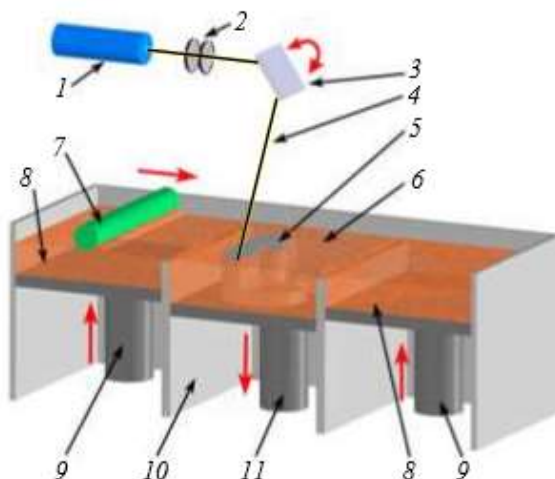


Рис. 2. Схема процесса 3D-печати селективно лазерным спеканием:

1 – лазер; 2 – фокусирующие линзы; 3 – вращающееся зеркало; 4 – лазерный луч; 5 – спеченная часть детали, обработанная лазером; 6 – пластиковый порошок; 7 – выравнивающий валик; 8 – картриджи с пластиковым порошком; 9 – поршни подачи пластикового порошка из картриджей; 10 – рабочая камера с деталью; 11 – поршень, приводящий в движение платформу с установленной на ней деталью [2]

К недостаткам технологии 3D-печати селективно лазерным спеканием можно отнести сложность и высокая цена установки, небольшая скорость 3D-печати, использование лазера большей мощности, несколько пористая наружная поверхность моделей, применение только порошковых полимеров. Достоинства: хорошее качество деталей наряду с их высокой механической прочностью, возможность "распечатывать" модели даже с подвижными частями (например, с петлевыми соединениями, кнопками и т.п.). Несколько лет назад были успешно разработаны специальные материалы (метал-

лические порошки с размером частиц порядка 20 мкм), позволяющие напрямую "распечатывать" детали из металла [2]. В качестве порошка были использованы микрочастицы стали, сверху покрытые слоем связующего пластика. После "распечатывания" модель дополнительно обжигается в печи. При термообработке пластик выгорает, а освободившиеся пустоты заполняются бронзой. В результате получается деталь, состоящая на 60 % из стали и на 40 % из бронзы. Такой сплав по своим механическим характеристикам превосходит алюминий и приближается к нержавеющей стали. Таким образом, данная технология позволяет получать полноценные металлические детали практически любой формы. Кроме того, относительно недавно был успешно разработан аналогичный материал с керамической "сердцевинкой", из которого можно изготавливать модели, устойчивые к высоким температурам и агрессивным средам.

Ламинирование или послойное формирование моделей из листового материала

Схема, описывающая процесс 3D-печати с помощью ламинирования показана на рис. 3, а ее суть заключается в следующем. Начальный этап работы схемы аналогичен рассмотренным выше технологиям. Отличием является то, что в качестве рабочего материала применяется не фотополимер, не порошок, а тончайшая пленка 9 (толщина от 76 до 254 мкм). В 3D-принтер, в зависимости от его модификации, предварительно загружаются либо тонкие листы пленки с нанесенным на поверхность клеящим покрытием, которое активизируется при нагреве, либо смотанный рулон пленки целиком 10 с дополнительными емкостями, в которых заправлено специальное клеящее вещество.

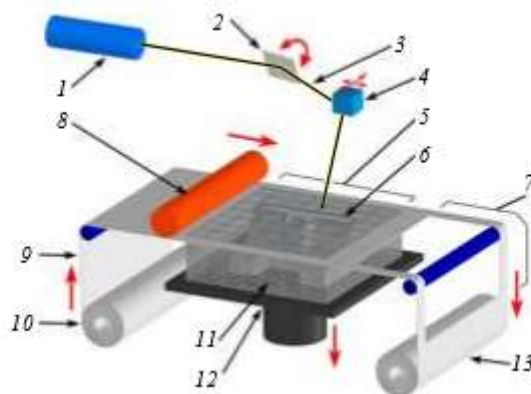


Рис.3. Схема процесса 3D-печати ламинированием:

1 – лазер; 2 – вращающееся зеркало; 3 – лазерный луч; 4 – подвижная оптическая головка; 5 – текущий обрабатываемый слой; 6 – обрабатываемый контур детали; 7 – предыдущий обрабатываемый слой; 8 – мобильный нагревательный валик; 9 – тонкая пленка; 10 – картридж с рулоном пленки; 11 – слоистая структура детали и заготовки; 12 – мобильная платформа; 13 – отработанный рулон пленки после печати [2]

Пройдя через выравнивающие валики, слой пленки поступает в рабочую зону 5, где лазерным лучом 3 (либо механическим способом – режущим инструментом) вырезается как контур 6 детали, так и разрезается на отдельные фрагменты (сетка на рис. 8) текущий обрабатываемый слой. После резки по всей поверхности рабочей зоны перемещается валик 8, разогревая клеящее вещество и сдавливая текущий слой пленки с предыдущим, формируя тем самым, шаг за шагом, послойно склеенную трехмерную модель детали. Отходы пленки 13 в виде рулона с прорезанными обработанными слоями 7 сматываются на конечном этапе печати. Для послойного вертикального перемещения детали платформа 12 выполнена мобильной.

К достоинствам этого метода можно отнести: нет необходимости в поддерживающих структурах, возможность получения деталей довольно сложной формы. Недостатки: процесс удаления лишнего материала с модели требует специального инструмента, высокая цена оборудования, процесс печати моделей занимает относительно длительное время, точная настройка лазера, невысока механическая прочность моделей.

Эта технология применяется для 3D-печати моделей для последующего литья в землю, центробежного литья, литья в постоянные и гипсовые формы, создания оснастки для вакуумной формовки, отличием которых является высокая точность (порядка 100 мкм). Поскольку ни во время печати, ни после затвердевания листовые заготовки не подвергаются ни физическим, ни химическим, ни фазовым изменениям, готовые модели не подвержены короблению, в них отсутствуют внутренние остаточные механические напряжения или другие деформации.

Таким образом, рассмотрены три наиболее распространенных способа 3D-печати на основе лазерных технологий, которые в основном применяются в различных областях промышленности в виде довольно габаритных, дорогостоящих установок.

Самой распространенной струйной технологией 3D-печати является моделирование методом наплавления. Схема, описывающая процесс 3D-печати с помощью этой технологии показана на рис. 4.

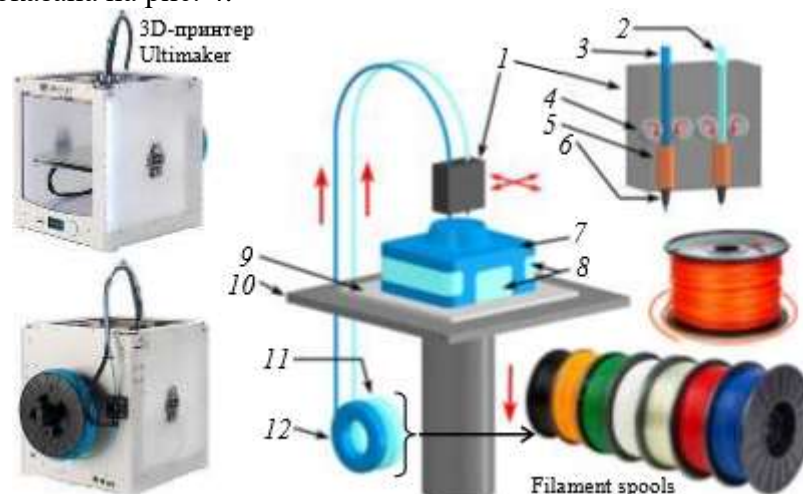


Рис. 4. Схема процесса 3D-печати моделированием методом наплавления:

1 – экструзионная головка; 2 – полимерная нить для создания поддерживающих структур; 3 – полимерная нить для построения модели; 4 – вращающиеся приводные ролики; 5 – ожигатели; 6 – сопла экструзионной головки; 7 – тело модели; 8 – элементы поддерживающих структур; 9 – пенопластовая подложка; 10 – мобильная платформа; 11 – бобина с полимерной нитью для создания поддерживающих структур; 12 – бобина с полимерной нитью для построения модели [2]

В качестве рабочего материала применяются термопластики (акрилонитрилбутадиенстирол, полилактид и другие), поставляемые в виде тонких (1,27; 1,75; 3 мм) нитей 2 и 3, смотанных в бобины 11 и 12, массой от 1 кг. В установках могут одновременно применяться несколько бобин (например, разных цветов) в зависимости от модели принтера, но, как правило, минимальное количество бобин равно двум – первая (поз. 12 на рис. 4) служит для построения модели, вторая же (поз. 11 на рис. 4) – для создания поддерживающих структур. Нити с бобин с помощью роликов 4 поступают в мобильную экструзионную головку 1, где нагревательные элементы ожигателей 5 разогревают их до полужидкого состояния. Через сопла экструзионной головки 6 полужидкий

материал выдавливается тонкой (250-965 мкм, в зависимости от модели) струйкой на пенопластовую подложку 9, расположенную на мобильной платформе 10, имеющую возможность перемещаться в вертикальном направлении. Так как температура окружающего воздуха вблизи сопла намного меньше температуры плавления выходящего из экструзионной головки 6 материала, то он практически мгновенно затвердевает. Таким образом, перемещаясь в горизонтальной плоскости, экструзионная головка "печатает" текущий слой модели 7 и поддерживающих структур 8. Когда слой полностью завершен, платформа 10 опускается вниз на расстояние порядка 100-300 мкм (величина называется "толщина слоя" и может задаваться в принтере вручную) и процесс повторяется снова для следующего слоя [2].

Эта технология обладает целым рядом преимуществ: возможность получения модели сразу же из нужного материала – различных видов пластика (пластиковые детали по своим механическим характеристикам на 85 % соответствуют механическим характеристикам деталей, полученных традиционным способом – литьем); безотходность (дополнительный расход материала необходим лишь для создания поддерживающих структур); автоматизация удаления поддерживающих структур. Недостатки: невысокая точность моделей, что связано с формой используемого "печатающего" материала (нить, диаметром 1,27 мм и более); относительно невысокая скорость печати, вызванная вязкостью материала и ограниченной скоростью его выхода из экструзионной головки, необходимостью заполнить всю площадь поперечного сечения каждого слоя материалами модели и поддерживающих структур; усадка и напряжение, как следствие возможное искажение материала. Но, несмотря на все недостатки, именно технология моделирования методом наплавления получила самое широкое распространение в бытовых 3D-принтерах [3].

Выводы

Рассмотренные технологии являются не только современными и высокоэффективными, но и инновационными по своей сути, поскольку сами позволяют генерировать новые технологии, несут в себе новое качество.

Использование 3D-технологий в машиностроительной отрасли позволяет производить детали самой разной степени сложности и конфигурации, повышать точность и качество изделий, сокращать сроки производства, снижать себестоимость продукции.

Список литературы: 1. Электронный ресурс: http://www.science-bsea.bgita.ru/2016/mashin_2016_23/kolesnikov_proto.htm. 2. Технологии быстрого прототипирования – от детской игрушки до мирового господства / Гречко А.М. // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Проблемы усовершенствования электрических машин и аппаратов. Теория и практика. – Х.: НТУ "ХПИ", 2013. – № 65 (1038). – С. 14-36. 3. Электронный ресурс <http://hercules3dprinter.ru>