

РОЗДІЛ «МАШИНОБУДУВАННЯ»

УДК 621.9.014:681

ЗАВАЦКИЙ В.Л., к.т.н., доцент
ЯЦЕНЮК Л.В., аспирантка

Днепродзержинский государственный технический университет

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ МЕТАЛЛООБРАБОТКИ

Введение. Metalloobrabatyvayushchie stanki zanimayut osoboe mesto v avtomatizatsii proizvodstvennykh protsessov izgotovleniya izdeliy mashinostroeniya. Oni vo mnogom obespechivayut sozdaniye drugikh mashin: metallorезущих станков, текстильного, транспортного, полиграфического, металлургического оборудования и всех остальных видов. Темпы развития станкостроения, уровень качества выпускаемых станков, удельный вес автоматизированного оборудования, многофункциональных станков с ЧПУ, робототехнических комплексов и систем автоматизированного обеспечения станков инструментом, заготовками с отводом готовых изделий и контроль качества в значительной мере определяют потенциал и уровень развития страны. Замыкающим звеном автоматизации в машиностроении являются сборочные операции. Однако автоматизация процессов металлообработки остается ключевым направлением в решении перчисленных задач.

Постановка задачи. Рассмотреть достигнутый уровень автоматизации металлообработывающих производств, перспективы дальнейшего развития этого направления в машиностроении, а также нацелить студентов и аспирантов машиностроительных специальностей на решение приоритетных задач в отечественном машиностроении.

Результаты работы. Интенсификация производства в машиностроении существенно влияет на качественные изменения в других отраслях промышленности. Нынешний технолог-машиностроитель или конструктор должны быть создателями надежных автоматизированных процессов, новых машин и станочного парка.

Обеспечение требуемого уровня автоматизации станочного оборудования является сложной технико-экономической задачей. Максимальным уровнем автоматизации должен обладать станок, работающий в “безлюдном” или “малолюдном” режиме, а минимальным – станок с ручным управлением.

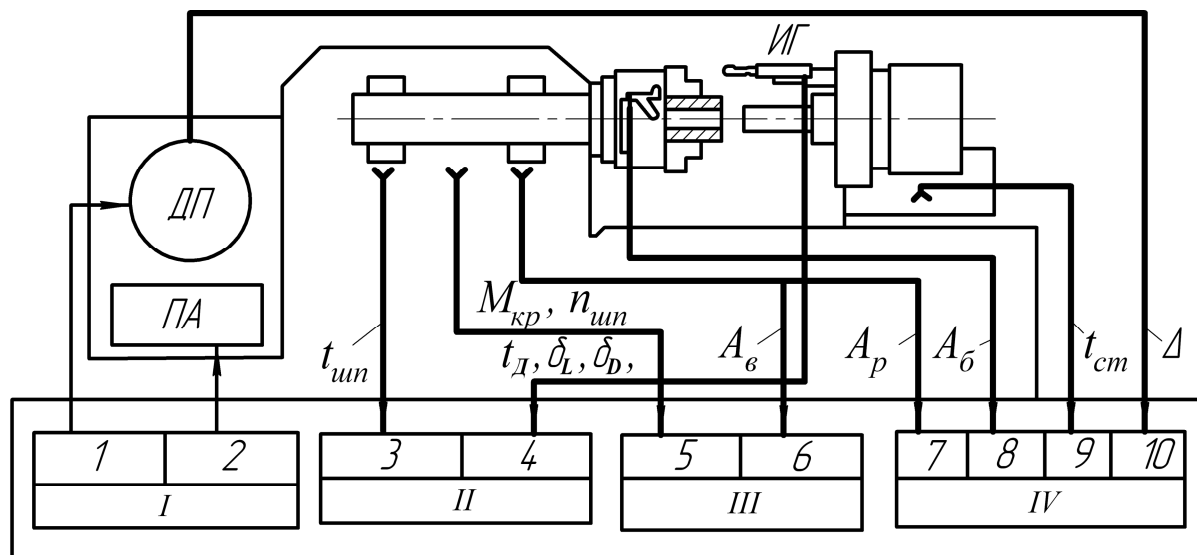
Станки оснащают набором различных устройств и датчиков, с помощью которых организуется получение сведений о техническом состоянии станка (диагностическая функция), а также о материальных и информационных потоках, необходимых для его функционирования.

Главным входным потоком для станка является поток заготовок, имеющий регулярный непрерывный или дискретный характер и реализуемый с помощью загрузочных устройств. Аналогичный характер имеет поток обработанных деталей, реализуемый посредством разгрузочных устройств. К периодическим относятся потоки новых и изношенных инструментов, для организации которых служит инструментальный магазин, снабженный устройством загрузки-разгрузки инструментов и смены их в шпинделе станка, а также поток бракованных деталей, помещаемых в специальную тару. Регулярный поток СОЖ организуется системой ее подачи, а периодический или регулярный поток отходов – конвейером отвода стружки [1].

Для оценки состояния и управления функционированием станка служат адаптивные системы управления (рис.1). На станке при этом установлена измерительная головка *ИГ*, а в системе управления расположен блок коррекции *БК*. От датчиков в *БК*

поступают сигналы о температуре $t_{шн}$ в шпиндельном узле, крутящем моменте $M_{кр}$ и частоте $n_{шн}$ вращения шпинделя, амплитуде A_B вибрации узлов, температуре t_d обрабатываемой детали и погрешностях ее размеров (δ_L длины и δ_D диаметра), а также о температуре $t_{ст}$ в стыках и рассогласовании Δ в приводах.

Для автоматизированных металлорежущих станков важным показателем является информация о состоянии режущего инструмента. Она может быть получена с помощью различных датчиков (мощности, тока, уровня вибрации и; т.д.). В примере, показанном на рис.1, эта информация поступает от датчиков, измеряющих амплитуду A_p колебаний шпиндельного узла, и служит для вибродиагностирования состояния инструмента.



ИГ – измерительная головка; *БК* – блок коррекции; *ДП* – дополнительные приводы; *ПА* – устройства путевого автоматики; *I* – управление приводами станка и циклом обработки; *II* – управление точностью обработки; *III* – управление производительностью; *IV* – управление исполнительными органами станка; 1 – интерполирование и управление приводами; 2 – управление циклом обработки; 3 – стабилизация температуры шпиндельного узла; 4 – измерение отклонений размеров и формы обработанной детали; 5 – определение мощности резания; 6 – контроль амплитуды вибраций узлов; 7 – диагностирование состояния инструмента; 8 – проверка точности установки заготовки; 9 – контроль износа узлов станка; 10 – контроль нагрузки приводов

Рисунок 1 – Принципиальная схема металлорежущего станка с адаптивной системой управления

Поскольку рассматриваемые станки снабжаются автоматическими загрузочно-разгрузочными устройствами, необходим контроль правильности базирования заготовки в зажимном приспособлении станка (информационный показатель A_6).

Процедура адаптации системы автоматического управления к условиям обработки состоит в том, что обрабатывают первую заготовку, а затем определяют необходимые параметры, т.е. получают недостающую информацию, требуемую для размерной настройки станка.

Другая группа адаптивных систем управляет режимом резания, выполняет технологическую наладку и защиту станка от поломок. В этом случае используют датчики усилий, мощности, вибраций и др. Они передают информацию о фактическом протека-

нии процесса резания в систему управления, которая уточняет режим обработки. Такой метод при наличии системы контроля и стабилизации температуры повышает эксплуатационную надежность станка.

Контрольно-измерительные и диагностические устройства, встраиваемые в такие станки и технологические системы, обеспечивают работоспособность их при различной степени участия обслуживающего персонала. Так, работоспособность универсального станка с ручным управлением обеспечивается оператором-станочником, а работоспособность ГПМ – его системой управления (рис.2). Последняя включает в себя средства контроля и диагностирования, что позволяет ГПМ функционировать в безлюдном или малолюдном режиме. В системе управления ГПМ используются два источника информации – программа контроля за отклонениями от нормального функционирования ГПМ и сведения, поступающие от диагностических устройств, например, датчиков обратной связи, измеряющих параметры движения (скорость, координаты) рабочих органов станка и его вспомогательных механизмов или устройств автоматизации. Такая система является автоматическим оператором.

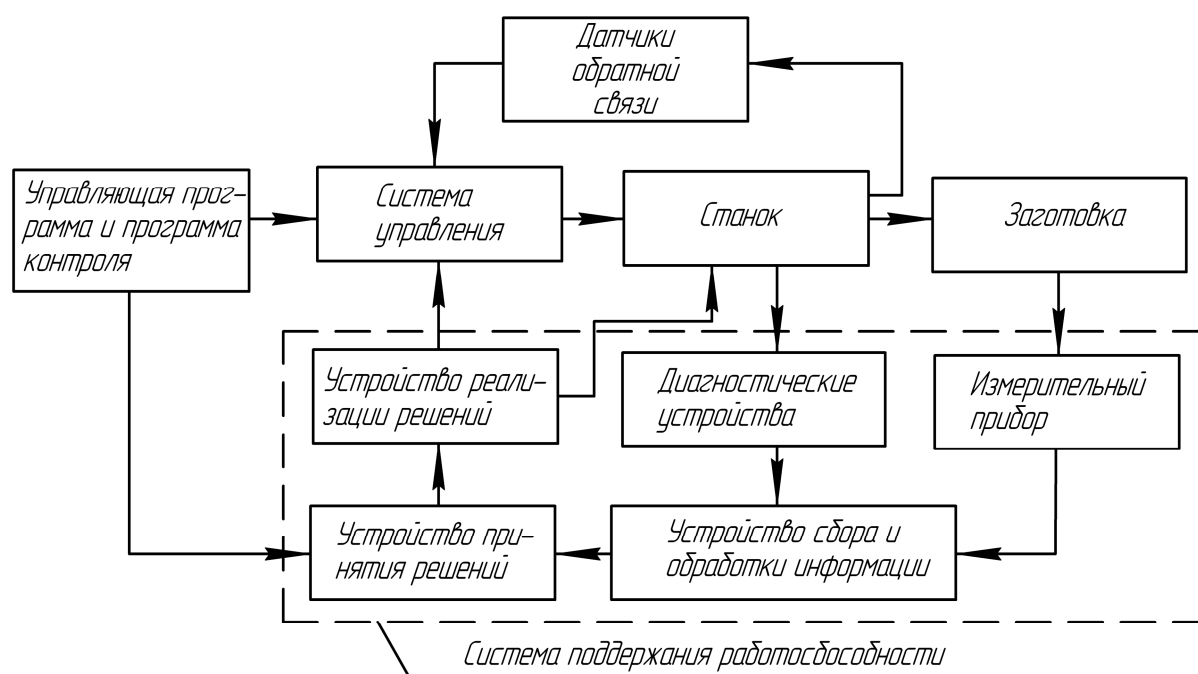


Рисунок 2 – Структура системы управления универсального станка с ручным ГПМ

Система поддержания работоспособности станка состоит из нескольких подсистем, работающих совместно или автономно в зависимости от конструктивных решений. К ним относятся подсистемы контроля за состоянием режущего инструмента, подсистема контроля качества, контроля за функционированием механизмов станка и подсистема диагностирования состояния механизмов.

Подсистемы контроля за состоянием режущего инструмента могут осуществлять периодический или текущий контроль. Метод измерения обычно прямой – с помощью индуктивных, пьезоэлектрических, фотоэлектрических и др. датчиков.

Периодический контроль осуществляется и при необходимости ввода коррекции в управляющую программу в случае замены изношенного или сломанного инструмента дублером. Для этого посредством измерительной головки с датчиком касания на токарных станках (рис.3) измеряют вылет резцов, а на многоцелевых – длину и диаметр инструмента. Измерительная головка занимает определенное положение в рабочей зоне станка: на столе многоцелевого станка или на передней бабке токарного. Такие измере-

ния позволяют осуществить “привязку” инструмента к системе координат станка, получить информацию о наличии инструмента в шпинделе, контролировать его износ и целость.

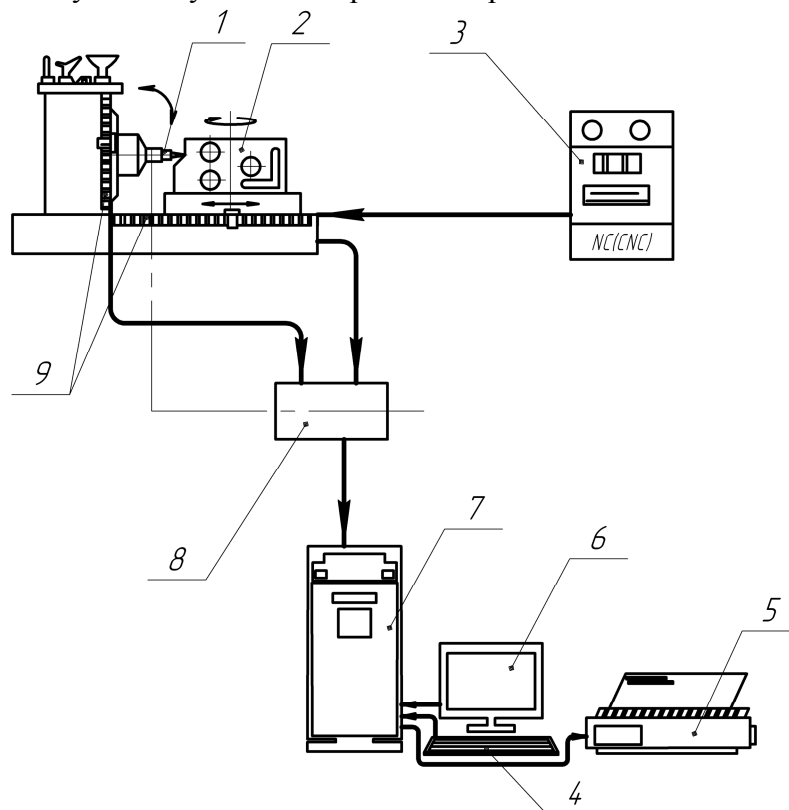
Измерение осевой нагрузки на ходовом винте станка с помощью силоизмерительного датчика, встроенного в опору винта, позволяет следить за износом инструмента, а также за изменением режима его функционирования в процессе обработки партии заготовок.

Для измерения нагрузки, испытываемой револьверными головками, шпиндельными коробками и шпиндельными узлами в них встраивают тензо- или пьезодатчики.

Для измерения нагрузки, действующей на различные узлы, широко используются накладные пьезодатчики. Их чувствительность выше, чем у тензорезисторов, а полосу пропускания позволяет фиксировать достаточно быстрые изменения нагрузки, действующей на инструмент.

Конструктивные решения, реализуемые при использовании таких датчиков, различны. Например, их встраивают в плиту, подкладываемую под револьверную головку токарного станка. Для создания предварительного натяга пьезодатчик должен выступать над поверхностью на 10-15 мкм.

К подсистемам контроля качества относятся приборы активного контроля (ПАК), применяемые в условиях массового и крупносерийного производства, и датчики касания, используемые в условиях серийного производства.

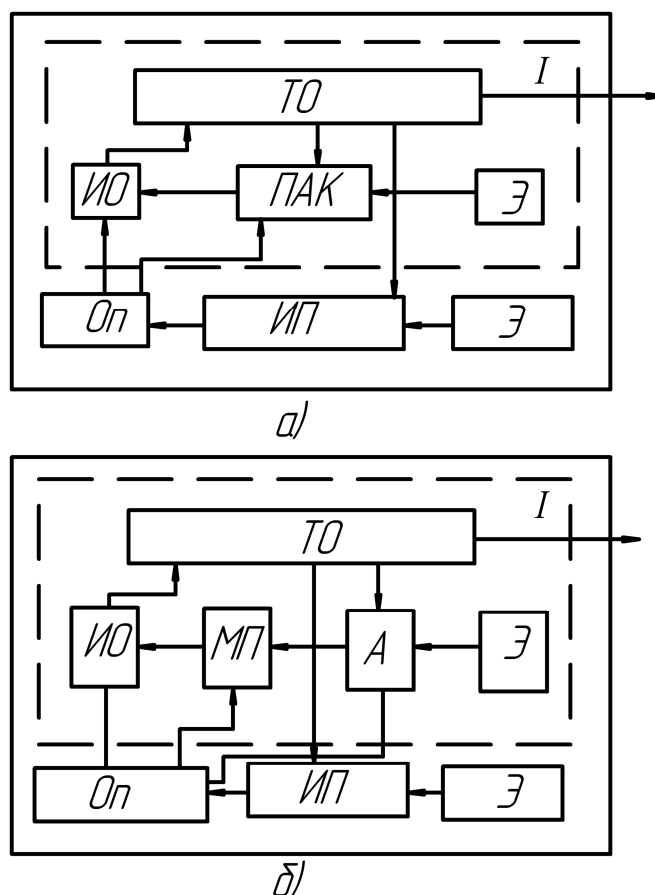


1 – индикатор контакта; 2 – заготовка (деталь); 3 – пульт управления; 4 – клавиатура (устройство ввода информации); 5 – принтер (периферийное устройство выдачи информации); 6 – монитор; 7 – компьютер; 8 – счетчик; 9 – импульсные линейки

Рисунок 3 – Система мониторинга с индикатором контакта

При необходимости автоматического контроля размеров, формы и точности установки заготовки и (или) детали на разных стадиях обработки используют ПАК, кото-

рые могут быть расположены как в рабочей зоне станка, (рис.4) так и вне ее. Это позволяет организовать управление точностью обработки на станках различного технологического назначения как с ручным, так и с автоматическим управлением.



(а) – при использовании ПАК; (б) – автоподналадчика;
 ТО – технологическая операция; ИО – исполнительный орган станка;
 МП – механизм подналадки станка; А – автоподналадчик; Э – эталон;
 ИП – измерительный прибор; Оп – оператор

Рисунок 4 – Типовые схемы управления точностью обработки

Для размерного контроля заготовки или детали на станках с ЧПУ и ГПМ используются измерительные головки (ИГ), состоящие из щупа в комплекте с электронным блоком и устройством бескабельной передачи сигналов, располагаются в инструментальном магазине, откуда манипулятор перемещает их в шпиндель (на сверлильно-фрезерно-расточных станках) или в револьверную головку (на токарных станках).

Аналогичные ИГ служат для контроля припусков и базирования заготовки, для идентификации заготовок, а также для промежуточного контроля заготовки на станке в процессе обработки и выходного контроля обработанной детали на станке. При определении расстояния между двумя плоскостями измеряют координаты трех точек на каждой из них и вычисляют их разность; для определения положения центра отверстия измеряют координаты трех точек в радиальном сечении и затем рассчитывают координаты центра окружности, проходящей через эти три точки. Все указанные замеры осуществляются автоматически.

Стабильность процесса обработки на современных станках с ЧПУ позволяет не встраивать в них измерительные устройства, а использовать установленную в цехе ко-

ординатную измерительную машину (КИМ) для периодического контроля качества обработки. В этом случае оператор станка или наладчик устанавливает обработанную деталь на КИМ, измеряет контролируемые параметры и в зависимости от полученных результатов направляет деталь на дополнительную обработку или на последующую технологическую операцию, а при необходимости производит подналадку станка.

Подсистема контроля за функционированием механизмов станка включает в себя ряд измерительных устройств, фиксирующих отклонения от нормы (например, перегрев двигателя главного привода). На выходе этих устройств формируются нормированные сигналы, которые поступают в устройство сбора и обработки информации, откуда передаются в устройство принятия решения.

Подсистема диагностирования механизмов отслеживает состояние гидропривода станков, подшипников качения и других аналогичных устройств и должна обеспечить функционирование станка с минимальным участием оператора.

Контроль и компенсация тепловых деформаций узлов станка позволяют обеспечить точность обработки при длительном функционировании. Так, из-за нагрева шпиндельный узел смещается, что приводит к снижению точности обработки. Компенсация в данном случае базируется на периодическом измерении фактических смещений деталей узла в пространстве.

При проектировании зоны обработки учитывается специфика отвода стружки. Удаляемая стружка может содержать постоянные примеси СОЖ и абразивную пыль одновременно (при шлифовании с охлаждением).

С точки зрения последующего удаления стружки наиболее благоприятны средние значения подачи и глубины резания, а также малая скорость резания (30-40 м/мин). Для стружкодробления на станках проводят тщательный подбор геометрических параметров резцов и параметров режима резания. Повышение подачи влияет на стружкообразование положительно, увеличение глубины резания – отрицательно. При этом в процессе обработки подача суппорта может быть прерывистой. На станках с ЧПУ соответствующие команды вводят в программу.

Для удаления стружки от станков служат встроенные в них конвейеры, конструкция которых зависит от обрабатываемого материала, формы и объема удаляемой стружки. Такие конвейеры должны удовлетворять ряду требований: легкость очистки и ремонта; простота конструкции; достаточная пропускная способность; минимальные затраты энергии.

В целях экологической защиты окружающей среды и обслуживающего персонала большая часть оборудования снабжается кабинетной защитой с встроенной системой отсоса вредных выделений. Для защиты персонала применяют маслонепроницаемое ограждение со встроенной системой отвода масляного тумана и дыма, образующихся в процессе резания. Вместо громоздких металлических ограждений применяют раздвижные панели из стекловолокна, перемещающиеся по направляющим и способствующие снижению уровня шума. Кабинетной защитой могут быть охвачены не только отдельные станки, но и целые автоматические линии. Конструктивно она выполняется в виде отдельных блоков (каждый – для группы оборудования линии).

Выводы. Приведенные методы и средства автоматизации процессов металлообработки направлены на повышение производительности технологического оборудования, качества машиностроительных изделий, улучшение условий труда и культуры производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проников А.С. Камышный Н.И., Волчкевич Л.И. и др. Металлорежущие станки и автоматы. – М.: Машиностроение, 1981. – 479с.

2. Гжиров Р.И., Серебrenицкий П.П. Программирование обработки на станках с ЧПУ: Справочник. – Л.: Машиностроение, 1990. – 588.
3. Черпаков Б.И. Устройства автоматизации станков. Станки и инструменты. 1997. № 5. – С.3-5; № 7. – С.3-8.

УДК 621.941.014.8

ЛЕВЧУК А.С., к.т.н., доцент
ЗАЦАРЕНКО В.И., ст.преподаватель
ТУРЕНКО Ю.Н., студент

Днепродзержинский государственный технический университет

СОЗДАНИЕ МАЛООТХОДНЫХ И БЕЗОТХОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Введение. Современное машиностроение является основным поставщиком вторичных отходов, используемых как сырье при производстве чугуна и стали. Полное и качественное использование отходов металлорежущих станков может быть обеспечено только при их качественной переработке.

В сфере массового и крупносерийного производства работает большое количество металлорежущих станков, выход стружки от которых в настоящее время составляет около одного миллиона тонн в год. Стружка загромождает и засоряет станки, автоматические линии, цеха, часто приводит к остановке оборудования, нарушает режим работы, снижает производительность, отрицательно влияет на точность и чистоту обработки, травмирует рабочих и ухудшает эстетический вид цехов и экологию.

Уборка стружки от станков и из механических цехов, а также процессы переработки стружки на многих предприятиях машиностроения производятся с использованием большого количества вспомогательных рабочих. Поэтому важным направлением дальнейшего повышения производительности труда в машиностроении является механизация и автоматизация вспомогательных операций, в том числе уборки и переработки стружки.

Постановка задачи. В отечественном машиностроении возник значительный разрыв между основными технологическими процессами и вспомогательными операциями, связанными с обслуживанием металлорежущих станков, транспортированием и переработкой металлической стружки. Созданы совершеннейшие станки-автоматы, обрабатывающие центры, автоматизированные сборочные конвейеры, самоподнастраивающиеся инструментальные системы, но для транспортирования и переработки стружки используется оборудование, известное уже 25...30 лет. Это в значительной степени увеличивает эксплуатационные расходы и себестоимость выпускаемой продукции, приводит к значительным потерям ценного металлургического сырья – стружки, требует применения большого объема ручного труда, загрязняет окружающую среду.

Получение стружки, как качественного сырья для последующего металлургического производства, требует внедрения эффективного оборудования для ее транспортирования и переработки. Это создает предпосылки для минимальных потерь сырья из металлофонда страны, способствует более широкому вовлечению в хозяйственный оборот вторичных материальных ресурсов.

Задача переработки и использования металлической стружки как отходов машиностроительной промышленности давно уже переросла в важную общегосударственную проблему. Проектные, научно-исследовательские институты, работники крупных

машиностроительных предприятий все больше приходят к выводу, что качественная переработка отходов машиностроения возможна только при комплексном подходе к решению данного вопроса, поэтому ними делаются попытки создания комплексных систем по переработке данных металлоотходов, но при этом используют давно устаревшее оборудование, что и является одной из главных причин практического отсутствия работающих комплексных систем в отечественной промышленности.

Результаты работы. Анализ работающих комплексных систем в странах зарубежья позволил сделать следующие выводы:

- комплексные системы оснащены устаревшим оборудованием, требующим большего количества обслуживающего персонала, ручного труда, мало автоматизированы;
- перерабатывают стружку только углеродистых и низколегированных сталей из-за применения малоэффективных стружкодробилок;
- энергоемкость систем очень велика, занимаемая территория значительна;
- надежность систем очень низкая вследствие попадания посторонних предметов в зону дробления.

Разработанная в Днепродзержинском государственном техническом университете технология и комплексная система переработки стружки свободна от недостатков существующих комплексов и включает в себя: агрегат I для подготовки стружки к дроблению, двухроторную ножевую стружкодробилку 2 и барабанный грохот 3 (рис.1). Под агрегатом и стружкодробилкой расположен общий для них ленточный конвейер 4, последовательно к которому установлен элеватор 5. Под барабанным грохотом размещен второй ленточный конвейер 6, а под торцом барабанного грохота – емкость 7.

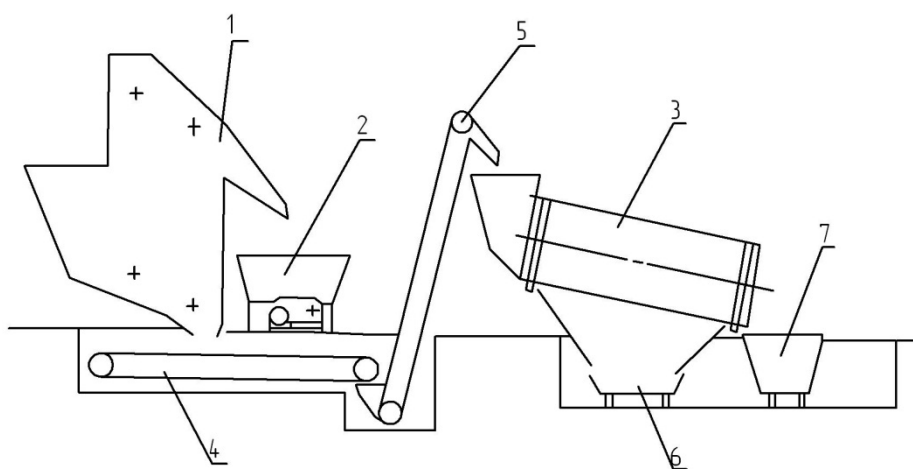


Рисунок 1 – Комплексная система переработки стружки

Комплексная система работает следующим образом. Витая стружка в смеси с недробимыми предметами и мелкой фракцией загружается краном в агрегат I для отделения недробимых предметов и разрыва стружки, который формирует из нее две компоненты: мелкоэлементную фракцию с недробимыми предметами и разрыхленную витую стружку. Агрегат работает в циклическом режиме, что хорошо согласуется с циклическостью его загрузки краном. В то же время дробилка 2 равномерно загружается витой разрыхленной стружкой. Мелкая фракция вместе с недробимыми предметами выгружается на общий ленточный конвейер 4. Витая стружка измельчается в двухроторной дробилке до требуемой крупности, после чего выводится на тот же ленточный конвейер 4, который перегружает ее в элеватор 5. Элеватор подает измельченную стружку в барабанный грохот 3, где она отделяется от недробимых предметов и выгружается на

второй ленточный конвейер 6, который транспортирует ее к месту накопления для последующего вывоза или дальнейшей переработки. Недробимые предметы выгружаются с торца барабанного грохота в емкость 7. В том случае, когда отделение недробимых предметов от мелкой стружки не является обязательным (например, при малом содержании или полном отсутствии их в стружке), перерабатывающий комплекс может быть ограничен тремя основными элементами: агрегатом для разрыва стружки с отделением мелкой фракции, двухроторной дробилкой и расположенным под ним общим ленточным конвейером.

Выводы. Практическое использование данной комплексной системы позволит получить значительный экономический эффект в результате:

- повышения производительности участка переработки стружки;
- повышения отпускной стоимости измельченной стружки;
- снижения эксплуатационных затрат по уборке и переработке стружки;
- уменьшения трудоемкости участка переработки.

Второй составной частью экономического эффекта от внедрения предложенной технологии и оборудования является сокращение транспортных расходов, связанных с перевозкой стружки за счет увеличения ее насыпной плотности (плотность недробимой стружки – 0,6-0,8 т/м³, измельченной – 4-5 т/м³).

Кроме указанных выше статей экономии от внедрения оборудования, позволяющего измельчать стружку любых сталей и сплавов, имеются еще факторы, не дающие прямой экономии, но очень важные в настоящее время и относящиеся к экологическим и социальным сферам деятельности предприятия, города, региона. Находящаяся в отвалах металлическая стружка загрязняет окружающую среду, способствует накоплению в ней ионов тяжелых металлов. Внедрение эффективного стружкоперерабатывающего оборудования позволит избежать скопления крупных масс стружки, улучшить экологическую обстановку на предприятиях и в городах.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.С.1530249 (СССР) Установка для измельчения. А.М.Тихонцов, В.И.Зацаренко, А.С.Левчук, А.И.Щекин, Ю.Е.Баранов, Н.А.Носенко. – Опубликовано в Б.И. № 47 23.12.89г.
2. А.С.880486 (СССР) Устройство для измельчения материалов. А.М.Тихонцов, А.С.Левчук, В.Т.Палагута, Г.А.Тихобаев, Н.П.Ревуцкий, В.С.Гусаков. – Опубликовано в Б.И. № 42 25.11.81г.

УДК 621.9.06.-233.1

МОРОЗОВ С. И., к.т.н., доцент
АСТРАШАПОВА Е.А., студентка

Днепродзержинский государственный технический университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СОВРЕМЕННЫХ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Введение. Современный металлорежущий станок, согласно определения одного из отечественных ученых станкостроения профессора В.Э.Пуша, органически соединил технологическую машину для размерной обработки с управляющей электронной машиной, построенной на микропроцессорах.

Современный металлорежущий станок, как технологическая машина для обработки материалов в отличие от других машин (литьевых, прессовых, штамповочных, сварочных и других установок), обладает своими феноменологическими свойствами. К этим свойствам относятся: возможность получения обрабатываемых деталей любой формы с высокой точностью, недостижимой другими технологическими машинами; высокая гибкость и экономичность при переходе на обработку новой детали; возможность встраивания металлорежущего станка в любые автоматизированные комплексы и линии; наличие механизма подачи и возможности одновременной многокоординатной обработки.

Известно, что в металлорежущем станке используются не только всевозможные различные металлические и неметаллические изделия, но и, как правило, имеются устройства различных энергетических систем, таких как гидро- электро- и пневмопривод. В качестве новых технологических средств используются различные воздействия на материал (электрохимические, электроэрозионные, плазменные и другие).

В этом плане металлорежущий станок выступает как опытный полигон для апробирования новых образцов приборов, источников движения, ЭВМ и других прогрессивных изделий и технологий научно-технического прогресса.

Следовательно, в металлорежущем станке фокусируются современные достижения научно технической революции, и его качественная работа синтезируется в выше перечисленном наборе новейших технических средств.

Постановка задачи. Выбор и обоснования обобщающих, синтезирующих характеристик и параметров, обеспечивающих стабильность факторов и гарантирующих высокую точность работы металлорежущего оборудования.

Рассмотрение и выявление причин возникновения динамических явлений, связанных с воздействием на упругую систему СПИД (станок, приспособление, инструмент деталь) процессов резания, трения и воздействия приводного двигателя. Выявление системных факторов, обуславливающих высокую стабильность выходных станочных характеристик и динамических гомеостазис металлорежущего станка как технической системы.

Результаты работы. В результате работы определены основные кинематические и физические характеристики обобщенной структуры современного станка, степень их влияния на динамическую устойчивость станка. Определена обратная связь упругой системы станка на режимы резания замкнутой кинематической и конструктивной несущей системы станка.

Обобщенная структура упругого контура станка, предложенная В.А.Кудиновым, с успехом может быть использована при определении не только динамических явлений, но и служить хорошим подспорьем при составлении размерных цепей, влияющих на точность обработки деталей.

Математическое моделирование представляет собой «машинный» эксперимент, который можно проводить, руководствуясь теми же методическими правилами, что и при обычном «натурном» эксперименте. При машинном эксперименте можно применять весь арсенал средств планирования и статистической обработки экспериментальных данных и получать обобщенные результаты, которые могут быть положены в основу конкретной расчетной методики. Результаты машинного эксперимента, выполненного и обработанного по определенным правилам, можно сопоставлять с результатами натурного эксперимента, проведенного в аналогичных условиях, и таким образом убедиться в соответствии или несоответствии модели и реального объекта.

Модель (в общеупотребительном значении термина) строится на основании эмпирических или предположительных данных, которые не являются ни законами, ни закономерностями, это формальное представление наблюдаемых реальных или вообра-

жаемых событий. Модель позволяет увязать воедино многочисленные процессы и проследить влияние различных условий, т.е. входных данных. Аппарат модели – многократное воспроизведение взаимодействия процессов. В ряде случаев модель помогает выявить новые закономерности, которые не усматриваются при анализе известных закономерностей и исходных данных в силу их сложности, громоздкости, несопоставимости и разноязычности.

Проверка адекватности модели осуществляется так же, как проверка теории: путем сравнения контрольных результатов с экспериментом. При несовпадении требуется уточнить модель. Способ построения модели (опыт, догадка, имитация и т.д.) может быть различным, важен результат – получение новых сведений об объекте моделирования. Модель не имеет априорных ограничений.

Теория, если исходные законы правильны и аппарат корректен, дает вполне надежные результаты. Относительно модели такой уверенности нет, поскольку неизвестно, исчерпывают ли исходные данные реальную ситуацию. Поэтому общность и достоверность модели ниже, чем теории. Зато модель работает оперативнее теории, а применять ее можно в слабо исследованных объектах.

Если исходные закономерности известны, но отсутствует аппарат их объединения и получения выводов (а именно с такой ситуацией мы сталкиваемся в сложных системах, части которых описаны на языках различных теорий), модель может работать как аппарат (т. е. средство получения выводов), и это одно из главных ее достоинств с точки зрения системотехники. В модель можно ввести процессы, протекающие в различных по физической природе объектах, наблюдаемых экспериментально и не имеющих аналитического описания, – модель воспроизведет все аспекты их взаимодействия.

Моделирование в ряде случаев эффективнее и оперативнее аналитического аппарата, поскольку модель позволяет проще и быстрее получить количественный результат. Еще одно из главных достоинств модели состоит в том, что она проще объекта моделирования, в то время как теория, в силу своей общности, всегда сложнее. С полным основанием можно утверждать, что модель – самое эффективное средство упрощения. Простота дается дорогой ценой ограниченности: модель отражает не все, а только некоторые грани сущности, только определенные свойства объекта моделирования. Но в системотехнике это скорее достоинство, чем недостаток, поскольку на практике нужны не все возможные, а конкретные, целенаправленные данные. Если возникает потребность в получении данных, связанных с другой областью применения системы, нужна новая модель. Многомодельность далеко не всегда недостаток, сравнение результатов, полученных на моделях, отражающих разные грани сущности сложной системы, могут служить важным средством исследования и познания.

Как познание, так и создание сложной системы прежде всего требует ее упрощения путем выявления главнейших, определяющих свойств с точки зрения исследователя или инженера. Интересы и позиции последних могут быть различными, как может быть различным и их отношение к системе. Системотехника требует учета различия, и модель позволяет это сделать.

Модель воспроизводит, имитирует сложную систему в определенном диапазоне условий и требований. От теории требуется охват всех имеющихся фактов – любой достоверный факт, противоречащий теории, полностью опровергает ее. Бывает, что одна группа фактов объясняется одной теорией, а другая – другой, но теории эти должны быть непротиворечивые, взаимно дополняющие (как, например, теория относительности и квантовая механика). Теория описывает только свойства системы.

Модели могут описывать различные стороны объекта (группа свойств, отражающих соответствующие сущности или точки зрения). Несовместимость, противоре-

чивость моделей допустима – это и показатель уровня знаний, и стимул к развитию. Это делает модель весьма прагматичной.

Обобщенная структура металлорежущего станка.

Современные математические методы и средства вычислительной техники позволяют решать комплексные задачи анализа и синтеза электромеханических, гидромеханических, пневмомеханических и других реальных систем с должной степенью полноты, учитывая свойства всех входящих в общую систему узлов. Основная роль здесь принадлежит методам математического моделирования, ибо даже при упрощении математических моделей элементов модель системы в целом оказывается все же слишком сложной для выполнения аналитических исследований.

Несмотря на бесконечное многообразие конкретных конструктивных решений, реальные машины и механизмы могут быть представлены в виде структур (рис.1), состоящих из укрупненных, агрегированных элементов, для которых известны и в той или иной мере исследованы математические модели. Любая машина (механизм), именуемые в дальнейшем для краткости объектами, состоит из следующих элементов: преобразователя энергии (ПЭ); двигателя (Д); устройства передачи движения (ПД); рабочего процесса (РП); процесса рассеивания энергии (РЭ); несущей системы (НС).

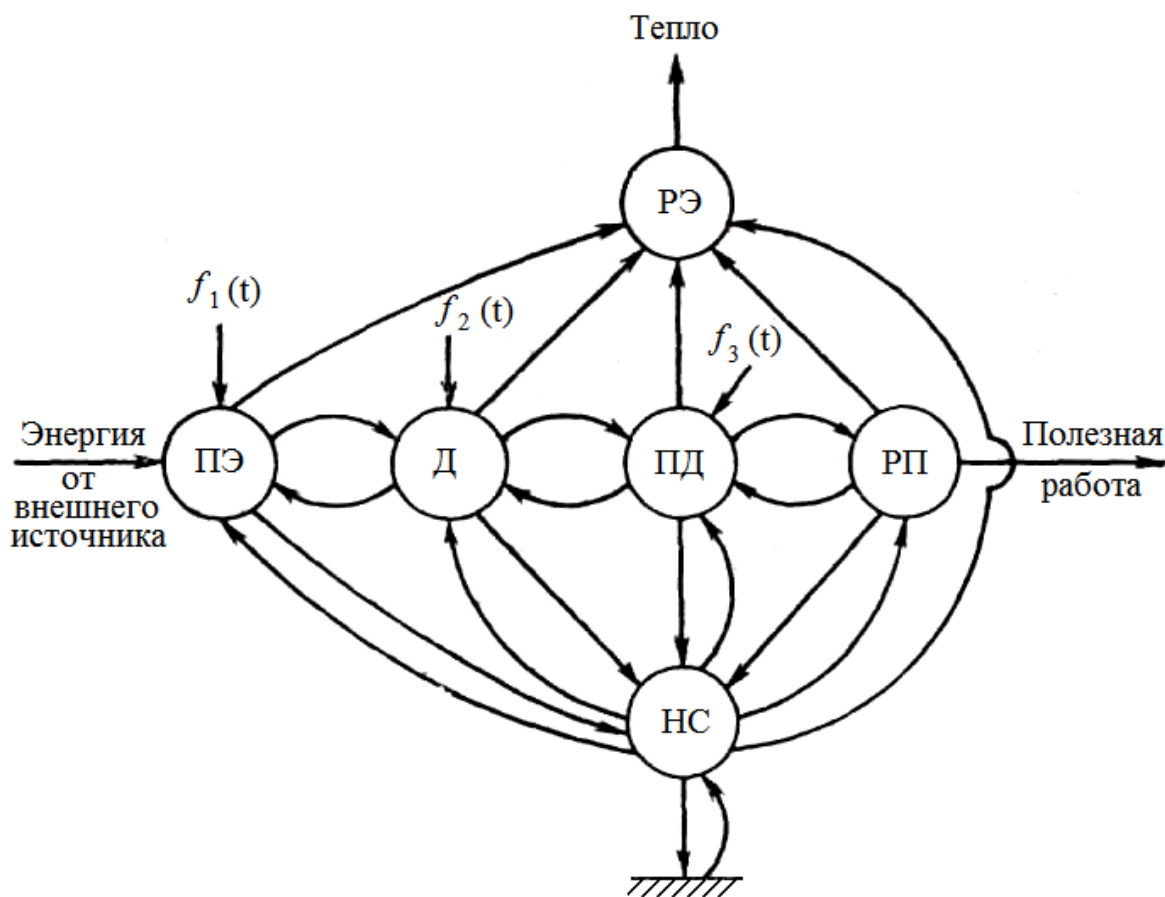


Рисунок 1 – Обобщенная структура машины (механизма)

К сожалению, некоторое несовершенство принятой терминологии приводит к тому, что в ряде случаев мы вынуждены отождествлять понятия «элемент» и «процесс», однако для дальнейшего изложения это несущественно.

Объект, потребляя энергию из внешнего источника неограниченной мощности (по сравнению с предельной мощностью объекта), преобразует ее в полезную работу.

Физический смысл этого понятия определяется технологическим или конструктивным назначением объекта. Это преобразование осуществляется в несколько этапов в зависимости от вида источника первичной энергии. В общем случае таким источником является мощная, например, региональная энергосистема. Функция элемента ПЭ состоит в преобразовании электрической энергии, потребляемой из этой системы, в тот вид энергии, который необходим для питания двигателя, т.е. устройства, преобразующего энергию различных видов в механическую энергию. В частных случаях ПЭ может иметь конструктивную форму электрического трансформатора, выпрямителя, насосной установки. Двигатель, потребляя энергию от ПЭ, может влиять на режим работы преобразователя энергии, что отражено на схеме прямой и обратной связей.

Устройство передачи движения ПД, потребляя энергию от двигателя и являясь для него нагрузкой, оказывает на него обратное влияние. Это также отражено на схеме прямой и обратной связей. Так же связаны ПД и РП. Физическое содержание процессов передачи энергии по прямым и обратным связям определяется конкретной конструктивной формой объекта.

Все элементы объекта так или иначе связаны воедино посредством несущей системы (рама, станина, корпус). В процессе работы отдельные элементы объекта отдают часть энергии в НС, где возникают колебательные процессы. В общем случае эти процессы могут влиять на функционирование остальных элементов объекта. НС может передавать колебания в основание (фундамент) объекта и воспринимать их со стороны основания. Наконец, все элементы объекта рассеивают часть подводимой к ним энергии, преобразуя ее в тепло.

Кроме внутренних связей, к некоторым элементам структуры могут быть приложены внешние воздействия (возмущения) $f_i(t)$. Каждый элемент общей структуры является динамической системой, и ему можно поставить в соответствие оператор W , а каждой связи – коэффициент передачи K_c . Операторы преобразования могут быть многомерными (матричными), а связи – векторными.

Если некоторые элементы общей структуры не рассматриваются, а влияние некоторых связей не учитывается, то это означает, что для таких элементов и таких связей $W=1$, $K_c=0$.

Рассмотрение общей структуры объекта позволяет сделать вывод, что для эффективного применения методов математического моделирования к исследованию и расчету машин и механизмов различного назначения необходимо иметь типовые модели, входящих в эту структуру элементов, и знать правила их соединения в общую систему. В этом случае разнообразные задачи прикладной динамики машин обретают должную методическую общность как в части постановки, так и в части решения и интерпретации получаемых результатов.

Динамическая структура металлорежущего станка может быть сведена к описанной выше обобщенной структуре. Согласно представлениям, развитым в работе В.А.Кудинова, металлорежущий станок является замкнутой многоконтурной системой (рис.2). В упругую систему (УС) станка входят несущая система и механизмы передачи движения, испытывающие в процессе работы станка деформации кручения, изгиба, растяжения-сжатия. Иными словами, УС является многомерной механической колебательной системой, состоящей из элементов и деталей различного конструктивного назначения, и может быть идентифицирована с элементами ПД и НС обобщенной структуры.

Элемент «процессы в двигателе», входящий в состав динамической системы станка, также является многомерным, поскольку в современных станках обычно используется несколько двигателей (в приводах главного движения, подач, вспомогательных перемещений). Этот элемент тождествен элементу Д обобщенной структуры.

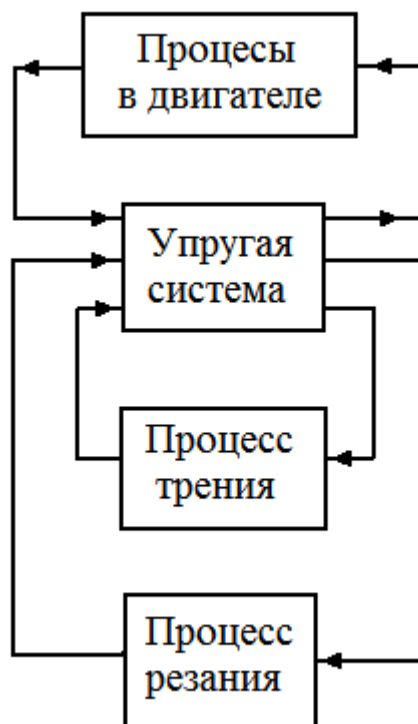


Рисунок 2 – Структурная схема металлорежущего станка (по В.А.Кудинову)

Элемент «процесс резания» эквивалентен элементу РП, а элемент «процесс трения» является одним из компонентов многомерного элемента РЭ, поскольку в подвижных сопряжениях узлов и деталей станков рассеивается и обращается в тепло значительная доля подводимой энергии. Следовательно, основные элементы обобщенной структуры машины и структуры динамической системы станка тождественны.

Теперь убедимся в соответствии прямых и обратных связей между этими элементами. В металлорежущих станках существуют прямая и обратная связи между УС и процессом резания (рис. 2). Силы резания вызывают деформации УС, которые приводят к изменению сечения срезаемого слоя, а это приводит к изменению сил резания. Связи такого типа в работающем станке существуют между процессом резания и несущей системой, а также между процессом резания и механическими элементами приводов. В обобщенной структуре это отображается связями между элементами ПД и РП, НС и РП.

Прямая и обратная связи существуют между УС и процессами в двигателе. В основном, это связи между двигателями и механическими передачами, входящими в состав УС. Связи по своей физической природе идентичны связям между элементами Д и ПД обобщенной структуры. В некоторых случаях можно обнаружить связи между процессами в двигателе и упругими деформациями в несущей системе (рис.2). В динамической структуре станка существуют прямая и обратная связи между УС и процессом трения, физический смысл которых состоит в том, что в определенных условиях деформации УС приводят к изменению контактных давлений в парах трения и, как следствие, к изменению сил трения, а последние, в свою очередь, изменяют упругие деформации УС. Аналогичные связи есть и в обобщенной структуре между элементами ПД и РЭ, НС и РЭ.

Таким образом, можно констатировать, что динамическая структура металлорежущего станка является частным случаем обобщенной структуры машины и состоит из

тех же основных функциональных элементов. Структуры отдельных систем, узлов и механизмов металлорежущих станков, рассматриваемых автономно, т.е. независимо от других узлов, механизмов и систем, также являются частными случаями обобщенной структуры.

Это обстоятельство в значительной степени облегчает разработку математических моделей конкретных объектов в соответствии с первым принципом.

Математические модели процессов резания.

Статические характеристики процесса резания, определяемые известными степенными формулами, представляют собой некоторую математическую модель процесса. Такие модели являются характерным примером формального обобщения экспериментальных данных путем их аппроксимации. Они построены практически для всех видов металлообработки и, кроме традиционных областей применения, используются для оптимизации режимов резания при создании систем адаптивного управления станками и т.д.

Динамические характеристики процесса резания привлекли внимание исследователей сравнительно недавно.

Все процессы резания делятся на собственно неустойчивые и собственно устойчивые. Для первых характерно образование элементной стружки, стружки надлома, сус-тавчатой стружки. Вторым присуще образование непрерывной, сливной стружки. Динамической характеристикой процесса резания называется зависимость изменения силы резания от вызвавшего это изменение относительного смещения заготовки и инструмента. На основе анализа полного выражения силы резания дан теоретический вывод динамической характеристики резания для собственно устойчивого процесса. Для случая прямоугольного свободного резания одним резцом с использованием ряда эмпирических соотношений и предположения о малости изменения координат процесса в работе получена математическая модель процесса резания в виде передаточной функции

$$P = K_p \frac{T_1^2 p^2 + T_2 p + 1}{T_p p + 1} y, \tag{1}$$

где P, y – лапласовы изображения изменений силы резания и относительного смещения инструмента и заготовки.

Коэффициент пропорциональности K_p и постоянные времени T_1, T_2 и T_p определяются режимами обработки, геометрией инструмента и свойствами обрабатываемого материала.

Для их вычисления даны расчетные формулы и показано, что во многих реальных случаях $T_1 \ll T_p$ и $T_2 \ll T_p$ [], и, следовательно, математическую модель (1) можно записать в упрощенном виде

$$P = \frac{K_p}{T_p p + 1} y. \tag{2}$$

К сожалению, сведения о величинах постоянной времени T_p крайне ограничены. Эта величина имеет порядок 10^{-4} с, и, следовательно, динамические свойства процесса резания, обусловленные математической моделью (2), проявляются при частотах, превышающих сотни герц. Кроме математических моделей типа (1) и (2), в динамике станков широко распространено представление о влиянии следов обработки на устойчивость станка при резании. Это представление легло в основу теории регенеративных колебаний. Модель регенеративных колебаний используется как при анализе устойчивости резания, объясняя целый ряд экспериментальных фактов, наблюдаемых в области сравнительно низких частот, так и при исследовании и расчете процессов формообразования при финишных операциях (шлифовании, тонком растачивании и т. д.). Она

применяется также при синтезе систем адаптивного управления, так как связывает изменения сил резания с параметрами обработки.

Рассмотрим более подробно эту модель применительно к различным видам обработки.

Согласно формуле К.А.Зворыкина сила резания

$$P(t) = Ka(t)h(t),$$

где K – коэффициент, определяемый геометрией инструмента и свойствами обрабатываемого материала; $a(t)$ – толщина срезаемого слоя стружки; $h(t)$ – глубина резания.

Для точения толщина срезаемого слоя и глубина резания зависят от упругих деформаций системы СПИД в направлении осей X и Y . Будем считать, что составляющие $P_X(t)$ и $P_Y(t)$ линейно связаны геометрическими соотношениями и могут быть представлены в виде

$$P_X(t) = k_X a(t) h(t); \quad (3)$$

$$P_Y(t) = k_Y a(t) h(t), \quad (4)$$

где k_X, k_Y – коэффициенты «жесткости резания» в направлении осей X и Y .

Мгновенная толщина срезаемого слоя

$$a(t) = x(t) - x(t - \theta), \quad (5)$$

где $x(t)$ – текущая координата резца относительно изделия (по оси X); θ – время одного оборота шпинделя. В свою очередь,

$$x(t) = X(t) - q_x(t), \quad (6)$$

где $X(t)$ – перемещение, создаваемое приводом продольной подачи; $q_x(t)$ – упругая деформация системы СПИД в направлении оси X .

Далее,

$$x(t - \theta) = X(t - \theta) - q_x(t - \theta). \quad (7)$$

Подставляя (6) и (7) в (5), получим

$$a(t) = [X(t) - X(t - \theta)] - [q_x(t) - q_x(t - \theta)].$$

Величина $[X(t) - X(t - \theta)] = s_0(t)$ – продольная подача на один оборот шпинделя. Заменяя эту величину ее значением, получим

$$a(t) = s_0(t) - [q_x(t) - q_x(t - \theta)]. \quad (8)$$

Упругая деформация системы СПИД в направлении оси X определяется составляющей $P_X(t)$ силы резания:

$$q_x(t) = L_x P_X(t), \quad (9)$$

где L_x – оператор эквивалентной упругой системы (ЭУС), станка.

Во многих случаях ЭУС описывается линейной системой обыкновенных дифференциальных уравнений. В этом случае оператор L_x есть линейный дифференциальный оператор, и ему соответствует передаточная функция

$$W_x(p) \left(p \equiv \frac{d}{dt} \right).$$

Глубина резания $h(t)$ определяется уравнением

$$h(t) = y(t) - [q_y(t) - \mu q_y(t - \theta)], \quad (10)$$

где $y(t)$ – текущее изменение припуска, обусловленное формой поверхности заготовки или перемещением, создаваемым механизмом поперечной подачи; $q_y(t)$ – упругая деформация системы СПИД в направлении оси Y; μ – коэффициент перекрытия следа ($0 \leq \mu \leq 1$).

Аналогично предыдущему

$$q_y(t) = L_y P_y(t). \quad (11)$$

Уравнения (3), (4), (8), (9), (10) и (11) образуют математическую модель процесса точения. Схема реализации этой модели на АВМ показана на рис.3.

Из приведенных уравнений можно легко получить модель процесса поперечного точения. При поперечном точении

$$P_y(t) = k_y h(t) B, \quad (12)$$

где B – ширина режущей кромки.

$$h(t) = y_0(t) - [q_y(t) - q_y(t - \theta)], \quad (13)$$

где $y_0(t)$ – поперечная подача на один оборот шпинделя. В данном случае $\mu = 1$.

Уравнения (11), (12) и (13) образуют модель процесса поперечного точения.

Аналогично можно построить модель процесса фрезерования. При тех же допущениях, которые были приняты для точения, окружную силу при фрезеровании можно описать формулой

$$P_\phi(t) = k_\phi a(t) l(t), \quad (14)$$

где $l(t)$ – суммарная длина режущих кромок зубьев фрезы, находящихся в контакте с заготовкой;

$$l(t) = B(t) \frac{z}{\pi \cos \alpha} \sqrt{\frac{h(t)}{D}}, \quad (15)$$

где $B(t)$ – текущая ширина фрезерования; z – число зубьев фрезы; D – диаметр фрезы; α – угол наклона зуба к оси фрезы.

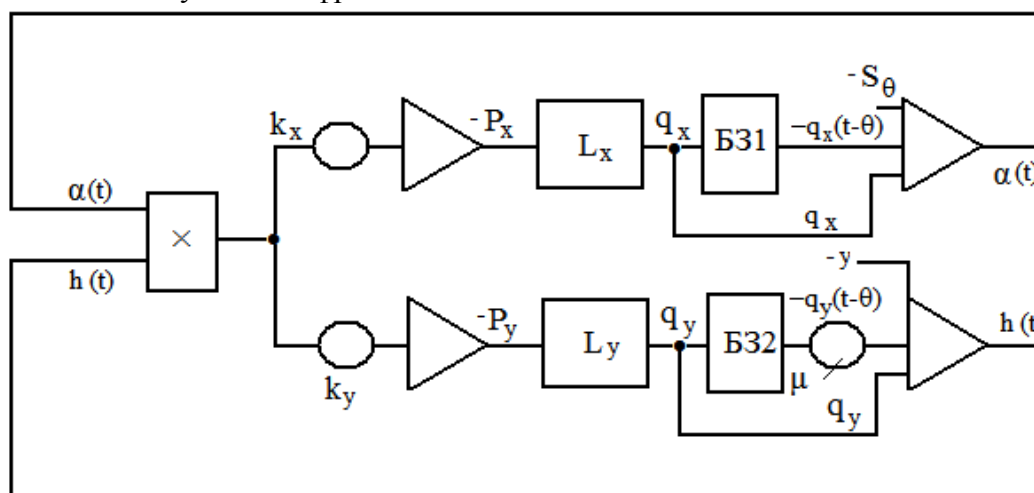


Рисунок 3 – Модель процесса точения (БЗ – блок запаздывания)

Мгновенная средняя толщина стружки

$$a(t) = \sqrt{\frac{h(t)}{D}} \{ [X(t) - q_x(t)] - [X(t - \theta) - q_x(t - \theta)] \}, \quad (16)$$

где θ – время поворота фрезы на один зубцовый шаг.

Учитывая, что $X(t) - X(t - \theta) = s_z(t)$ – подача на один зуб, вводя обозначение

$$s_z(t) - [q_x(t) - q_x(t - \theta)] \equiv x_z(t), \quad (17)$$

и подставляя (15) и (16) в (14), получим

$$P_\Phi(t) = k'_\Phi x_z(t) B(t) h(t), \quad (18)$$

где

$$k'_\Phi = \frac{k_\Phi z}{\pi D \cos \alpha}, \quad (19)$$

Глубина резания $h(t)$ определяется выражением

$$h(t) = y_0(t) - [q_y(t) - q_y(t - \theta)]. \quad (20)$$

Деформации системы СПИД, как и при точении, определяются из уравнений

$$q_y(t) = L_x P_x(t) = L_x P_\Phi \cos \frac{\beta}{2}; \quad (21)$$

$$q_x(t) = L_y P_y(t) = L_y P_\Phi \cos \frac{\beta}{2}, \quad (22)$$

где β – угол контакта фрезы с заготовкой.

Полученные уравнения образуют математическую модель процесса фрезерования, схема реализации которой принципиально ничем не отличается от схемы модели процесса точения. Аналогичные модели могут быть получены и для других видов обработки.

На основе приведенных выше уравнений могут быть получены передаточные функции процесса резания, которые описывают его как объект регулирования (например, в системах адаптивного управления). Вследствие запаздывания передаточные функции имеют довольно сложный вид, в связи с чем вводятся всякого рода упрощения, основанные на представлении функции запаздывающего аргумента тем или иным функциональным рядом.

Адекватность моделей процессов резания была установлена рядом исследований. Сопоставление экспериментальных амплитудных и фазовых частотных характеристик с расчетными, полученными по передаточным функциям, выведенным из уравнений, описывающих процесс точения, показало высокую степень соответствия. Основная трудность реализации моделей резания на АВМ состоит в том, что блоки запаздывания современных АВМ имеют ограниченный частотный диапазон, определяемый произведением $\omega\theta$ (ω – частота процесса), которое должно быть меньше некоторой определенной величины. Для наиболее совершенных конструкций таких блоков должно быть $\omega\theta \leq 2\pi$, иначе резко возрастает погрешность блока.

Выводы. Стабильность и величина основных системных характеристик современных станков следует искать в информационных процессах, циркулирующих в замкнутых контурах управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.Э.Пуш. Металлорежущие станки, М. «Машиностроение» 1986, – 576с.
2. Дружинин В.В. Конторов Д.С. Системотехника, М. «Машиностроение» 1985, – 200с.
3. Кудинов В.А. Динамика станков М. «Машиностроение» 1967. – 359с.
4. Металлорежущие станки и автоматы под. ред. Проников А.С. – М. «Машиностроение» 1980. – 480с.

Днепродзержинский государственный технический университет

КОНСТРУКТИВНЫЕ И ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СПОСОБОВ УСТРАНЕНИЯ ЗАЗОРОВ В МЕХАНИЗМАХ СТАНКОВ

Введение. Повышение основных показателей качества металлорежущих станков – точности, надежности и производительности – является важнейшим условием при решении задач, направленных на обеспечение конкурентоспособности изделий отечественного машиностроения. Этим, видимо, объясняется большой объем научно-исследовательских и экспериментальных работ, направленных на поиск оптимальных путей, средств и способов повышения точности, надежности и производительности станков при обеспечении таких экономических показателей, как снижение энерго- и материалоемкости.

В настоящее время назрела необходимость обобщить эти работы, взаимно увязать исследуемые проблемы, а также, что особенно важно, сделать их доступными для непосредственного внедрения при создании новых станков.

Постановка задачи. Систематизация и конструктивно-кинематические варианты возникновения зазоров в типовых механизмах станков. Возникновение зазоров в механизмах станков: геометрическое, упругостное, износное.

Результаты работы. Сформулированы как основные положения конструктивные и физико-технические аспекты способов устранения зазоров в механизмах станков.

Рассмотрены практические способы устранения зазоров в наиболее распространенных механизмах станков.

Систематизированы и проанализированы конструктивные и физико-технические аспекты при устранении зазоров в станках.

Приведены аналитические зависимости, позволяющие различить физическую природу зазоров (геометрическую или упругостную).

Работоспособность и точность большинства механизмов станков в значительной степени зависят от зазоров в соединениях, опорах и передачах. Чаще всего зазоры отрицательно сказываются на эксплуатационных показателях, поэтому конструкторы постоянно заняты поиском эффективных решений, устраняющих зазоры полностью или хотя бы частично. Для станков с ЧПУ эта проблема особенно актуальна, поскольку зазоры оказывают влияние также на работу привода, системы управления и т. д. Особо следует отметить так называемые упругие зазоры, которые появляются в результате деформаций элементов станка (в частности, направляющих) при реверсировании движений. Упругие зазоры зависят от жесткости соединения, сил трения, расстояния от направляющих до места измерения и т.п. В данной работе упругие зазоры не рассматриваются.

В основу устройств для выборки зазоров положено использование ряда физико-технических эффектов, наиболее распространенные из которых приведены в табл.1. Чаще всего используют упругие свойства материала, относительные перемещения элементов, а также эффект клина. Соединение I, 1 основано на деформации (штриховые линии) сильфонной втулки 1, обеспечивающей как передачу момента, так и точное центрирование зубчатого колеса 2. Рабочие размеры: $d=14\div 100$ мм; $L=20\div 60$ мм. В схемах I, 2 и I, 4 зазор в зацеплении соответственно цилиндрической и червячной передач устраняется в результате радиального сближения колес пары (I, 2) или червяка с колесом (I, 4). При этом из-за искусственно увеличенной податливости в радиальном

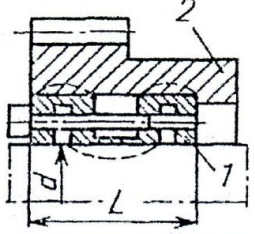
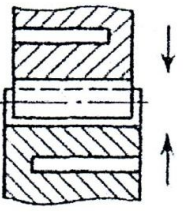
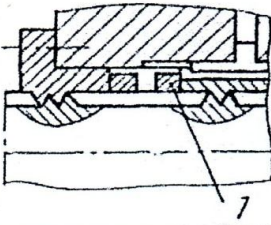
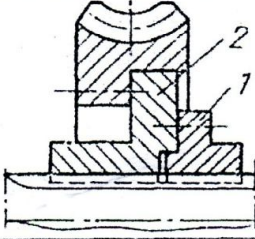
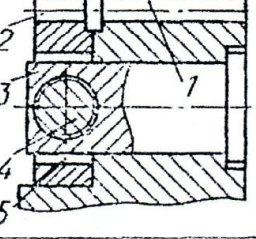
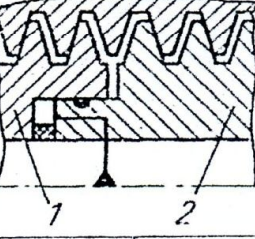
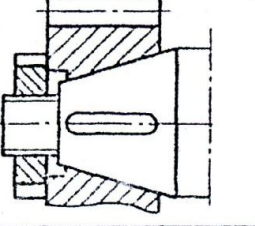
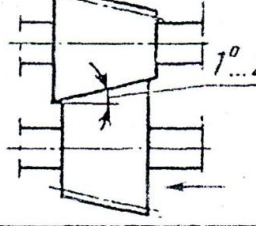
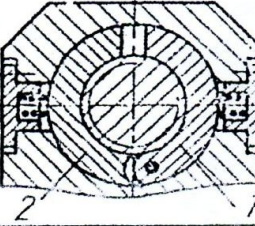
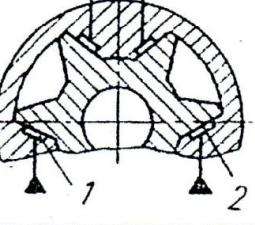
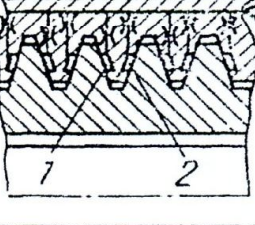
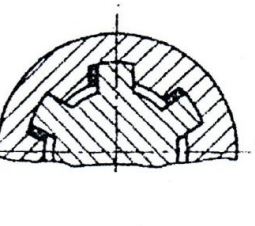
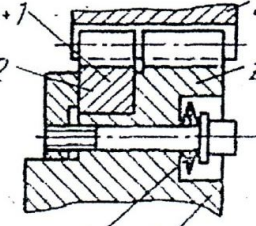
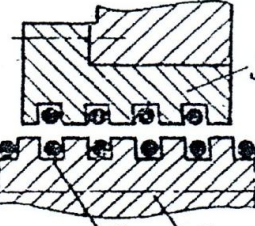
направлении жесткость передачи невысока. Выборка зазора в передаче винт – гайка скольжения (схема I, 3) и в направляющей качения (схема I, 5) происходит с помощью пружины 1. Натяг в радиальном двухрядном подшипнике с цилиндрическими роликами (схема I, 6) регулируют, деформируя внутреннее кольцо 1 при его осевом перемещении по конической шейке 2.

Схемы II, 1 – II, 6 иллюстрируют устранение зазора путем относительного перемещения или поворота деталей 1 и 2. Такие соединения, как правило, отличаются высокой жесткостью. В схеме II, 1 предусмотрен относительный поворот частей 1 и 2 сборной ступицы червячного колеса; в схеме II, 2 тангенциальное относительное смещение (разворот) зубчатых венцов 1 и 2 осуществляется винтом 4, взаимодействующим с пальцем 3 и с торцом паза 5, выполненного в венце 2. Осевое смещение червяков 1 и 2 червячно-реечной передачи (схема II, 3) и червяка 2 (схема II, 4) червячной пары производится с помощью гидроцилиндра или пружины. Натяг в направляющих качения (схема II, 5) создается поворотом эксцентрика 2 (e – эксцентриситет), а в радиально-упорных подшипниках (схема II, 6) – сближением внутренних колец 1 и 2 при подшлифовании компенсатора 3.

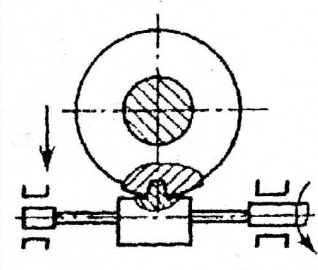
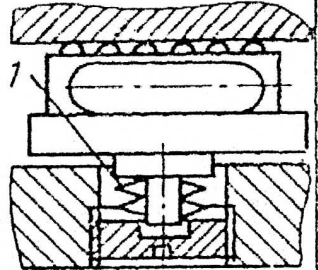
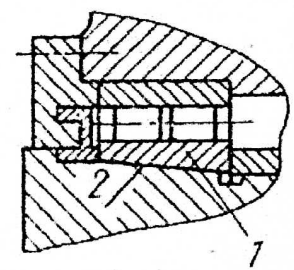
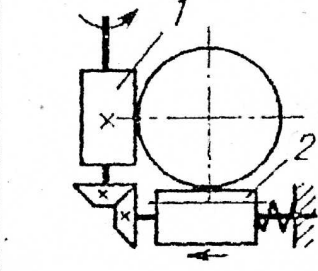
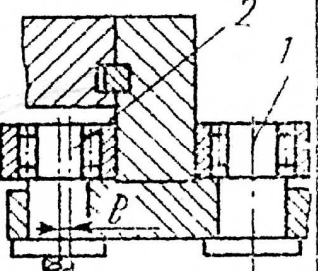
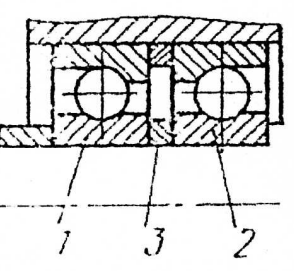
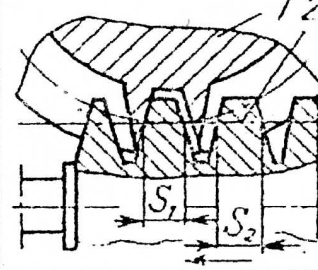
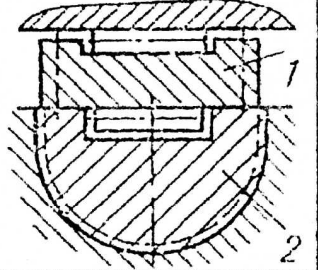
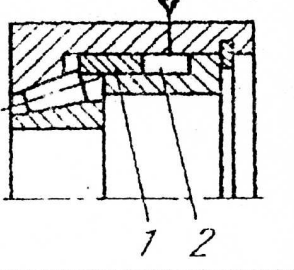
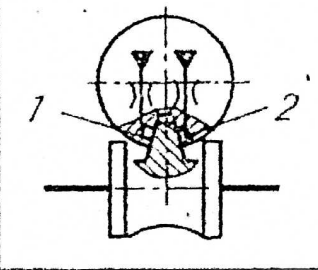
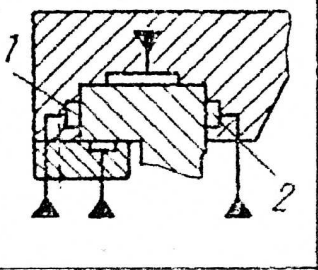
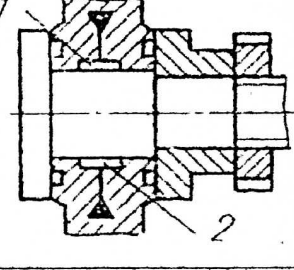
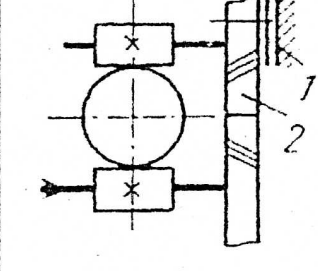
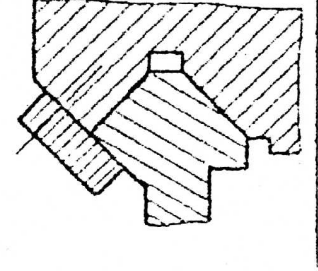
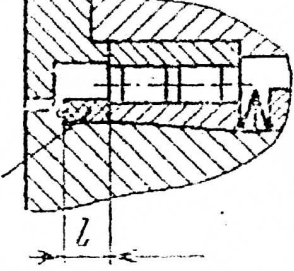
В устройствах по схемам III, 1 – III, 6 для устранения (или уменьшения) зазора используются свойства конических и клиновых соединений. Так, в винтовой передаче приводов подачи (схема III, 3) зазор выбирается при автоматическом повороте полугаек 1 и 2 пружинами. Зазор в червячной передаче (схема III, 4) уменьшают периодически при износе червячного колеса 1 путем осевого перемещения (на схеме – стрелка) червяка 2, имеющего различную толщину витка ($S_2 > S_1$) в осевом сечении (так называемая разноходовая передача). В этом случае после перемещения червяка в работу вступает профиль с большей толщиной витка. Выборка зазора в роликовых направляющих качения (схема III, 5) осуществляется при осевом перемещении опоры 1, установленной на клине 2, имеющем конусообразную поверхность. В этом случае достигается также самоустановка опоры 1. Постоянный натяг в подшипнике с коническими роликами (схема III, 6) обеспечивают путем осевого нагружения роликов через втулку 1 при подводе масла под постоянным давлением в полость 2.

В гидростатических замкнутых опорах и передачах (схемы IV, 1 – IV, 6) зазоры устраняются благодаря самому принципу действия, когда масло под давлением поступает в противоположные карманы 1 и 2 и заполняет зазор между рабочими поверхностями. В передачах скольжения, имеющих аналогичное назначение, для обеспечения их работоспособности предусматривают зазор, который отрицательно сказывается на функционировании механизма, например, при реверсировании. Эффект гидростатической смазки используется, например, в направляющих 1 и 2 шпинделя 3 (схема IV, 1) зубодолбежного станка, предназначенных для осуществления возвратно-поступательного перемещения, и в гидростатической червячно-реечной передаче (схема IV, 3) с карманами на рейке, используемой в тяжелых станках при большой длине перемещения. Реализация гидростатической смазки в червячной передаче (схема IV, 4) возможна только при специальных профилях червяка и колеса (например, в глобоидных парах), обеспечивающих малый и достаточно постоянный зазор в зоне зацепления, играющий роль уплотнения. Выборка зазоров гарантирует высокую точность перемещения узлов (схема IV, 5), в том числе при их реверсировании, и высокую геометрическую и размерную точность шпиндельных узлов (схема IV, 6). В схемах V, 1 – V, 6 для ликвидации зазора используются различные эффекты. Применяя самотвердеющую пластмассу, впрыскиваемую в шлицевое соединение, устраняют боковые зазоры (схема V, 1). Для создания предварительного натяга в зацеплении зубчатых колес (схема V, 2) используется относительное проскальзывание колес 1 и 2, числа зубьев которых различаются на единицу (z и $z+1$). Оба они находятся в зацеплении с колесом 3, причем коле-

Таблица 1

Используемый эффект	1. Вид соединения, передачи,		
	Валы 1	Зубчатые передачи 2	Винт - гайка, червяк - рейка 3
I Упругие свойства материала			
II Относительные перемещения элементов			
III Конические и клиновые соединения			
IV Гидростатическое смазывание			
V Различные эффекты			

Продолжение таблицы 1

опоры		
Червячные передачи 4	Направляющие 5	Подшипники 6
		
		
		
		
		

со 2 всегда отстает от колеса 1 и прижимается к противоположной стороне профиля зуба колеса 3. Усилие, с которым выбирается зазор, регулируется пружиной 4. В винтовой передаче (схема V, 3) использованы магнитные свойства: вращение от винта 1 к гайке 3 передается бесконтактно, благодаря взаимодействию магнитных полей, возникающих в витках обмоток 2 винта и гайки.

Передача движения при этом осуществляется в обоих направлениях без зазоров (при реверсировании может возникать упругий зазор, величина которого зависит от магнитных свойств передачи). В конструкции червячной передачи (схема V, 4), изменяя момент тормоза 1, связанного с косозубым колесом 2, можно регулировать осевое усилие, с которым происходит выборка зазора. В схеме V, 5 зазор в V-образной направляющей при ее износе устраняется автоматически под действием веса узла. Автоматическое регулирование натяга в подшипнике при его нагреве (схема V, 6) осуществляется благодаря назначению материала кольца 1 с повышенным коэффициентом линейного расширения (например, эбонита). При нагреве кольца его ширина l увеличивается, и натяг уменьшается.

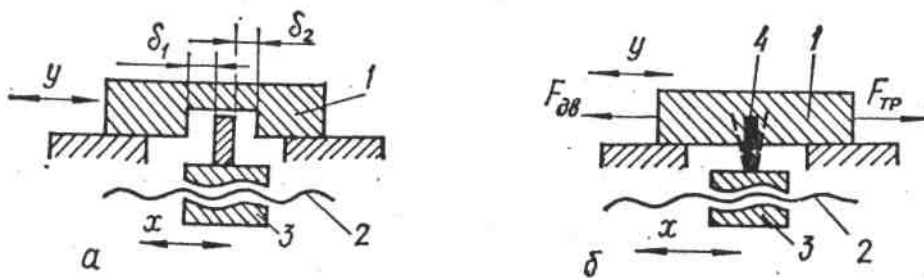


Рисунок 1 – Кинематический зазор (а) и упругие отжатия (б) в приводе станка с ЧПУ

Важнейшей особенностью следящего привода станков с ЧПУ является наличие беззазорных кинематических цепей, зубчатых редукторов и шариковых винтовых пар качения. Зазоры могут быть кинематические и упругие (упругие отжатия).

Кинематический зазор (рис.1, а) определяется зазорами δ_1 и δ_2 между подвижным органом 1 и ведущей частью гайки 3, перемещающейся по ходовому винту 2. В результате этого движение рабочего органа (РО) при включении привода может начаться после того, как один из зазоров будет равен нулю. Таким образом, при движении в одну сторону РО будет отставать от заданного положения на величину зазора δ_1 , а в другую – на δ_2 . Суммарный зазор $\delta_k = \delta_1 + \delta_2$ называется кинематическим. Зазоры могут быть в самой гайке, подшипниках винта одновременно в нескольких местах. В результате в момент реверса полное перемещение выходного элемента всегда меньше перемещения входного элемента x на величину зазора δ_k , т. е. $y = x - \delta_k$.

Схема образования упругого зазора показана на рис.2, б. Здесь гайка 3 соединена с РО с помощью упругого элемента 4 жесткостью C_y . Для того, чтобы сдвинуть РО, к нему вдоль направляющих необходимо приложить силу F_{AB} , превышающую силу $F_{тр}$. Сила $F_{дв}$ пропорциональна натягу упругого элемента: $F_{дв} = C_y(x - y)$, причем $C_y(x - y) = F_{тр}$. Отсюда $y = x - F_{тр}/C_y$. Так как сила трения меняет знак при изменении направления движения и в первом приближении не зависит от скорости, то это соотношение остается справедливым при обоих направлениях движения, и перемещение выходного элемента всегда меньше перемещения входного элемента на величину $\delta_y = F_{тр}/C_y$, которая и называется упругим зазором. Обычно в легких станках превалирует влияние кинематического зазора, а в тяжелых – упругого.

Выводы. 1. Приведена систематизация и конструктивно-кинематические схемы возникновения зазоров в типовых механизмах станков.

2. Рассмотрен аналитический вариант возникновения упругостных и геометрических зазоров механизмов станков.

3. Результаты опубликованной статьи могут быть использованы студентами вузов при выполнении курсовых и дипломных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьянц Г.О. и др. Точность, надежность и производительность металлорежущих станков. – Киев: «Техника», 1991. – 180с.
2. Бушуев В.В. Основы конструирования станков. – М, «Станки» 1992. – 350с.
3. Кузнецов Ю.Н. Станки с ЧПУ. – Киев: «Техника», 1990. – 230с.

УДК 621.914

КОРОТКОВ В.С., к.т.н., доцент

Днепродзержинский государственный технический университет

ОПИСАНИЕ СЛОЖНЫХ КОНТУРОВ ДЕТАЛЕЙ НА ЭТАПЕ ПОДГОТОВКИ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ

Введение. В конструкторской документации поверхности изделий сложной конфигурации часто записывают набором координатных точек. Точность задания этих поверхностей зависит от количества точек и точности их вычисления на этапе конструирования изделия. При подготовке управляющих программ для станков с ЧПУ геометрическая информация в таком виде вызывает определенные трудности, связанные с необходимостью работать с большими объемами информации при точном задании координат точек, округлением численных значений и т.п. [1].

Постановка задачи. Для упрощения записи и повышения точности описания контуров поверхностей сложных деталей, выполнения расчетов траекторий движений инструментов при обработке на станках с ЧПУ и осуществления контроля точности обработки целесообразно иметь возможность записи сложных контуров как точками, так и параметрически. Это позволит повысить эффективность подготовки управляющих программ с использованием вычислительной техники, создает предпосылки для автоматизации контроля точности пространственно сложных поверхностей непосредственно на технологическом оборудовании с использованием измерительных систем [4].

Результаты работы. Запись сложных гладких поверхностей удобно выполнять с использованием сплайнов. Теория сплайн-функций как метод описания кривых и поверхностей появилась сравнительно недавно (в 50-60 годы) и сразу же прекрасно зарекомендовала себя в точном машиностроении. Сплайны, наряду с высокой точностью описания кривых, дают сравнительно простые алгоритмы их построения и программирования. Этой теории и различным аспектам ее приложений посвящены многие работы [2,3].

Рассмотрим задание исходной информации набором координатных точек (таблицей), количество которых достаточно для обеспечения требуемой точности.

Наибольшее число работ посвящено интерполяционным сплайнам [2], которые проходят через точки, и более сложным сглаживающим сплайнам. В нашем случае сплайны используются для первоначального описания исходных данных, которые в последующем будут преобразованы в параметрический вид-сплайн. На рис.1 показано разбиение замкнутого контура на четыре участка, каждый из которых описывается своей явной формулой.

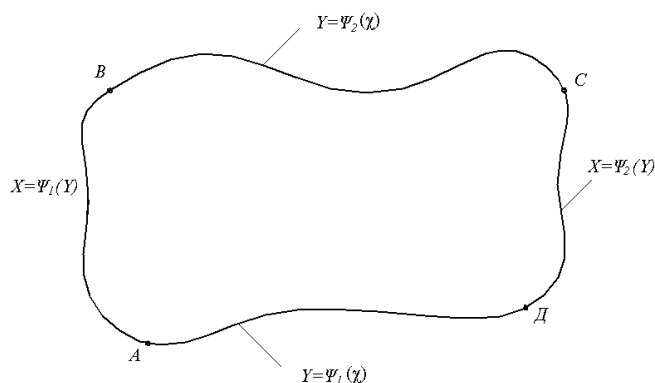


Рисунок 1 – Запись контура детали в явном виде

Рассмотрим задание контура координатами точек $M_i(x_i, y_i)$ ($i = \overline{1, n}$). Для простоты будем считать, что контур замкнут, т.е. что

$$M_n(x_n, y_n) = M_0(x_0, y_0), \quad M_{n+1} = M_1, \dots$$

Интерполяционный параметрический сплайн можно определить следующим образом. Пусть

$$\bar{S}_i = \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2} \quad (i = \overline{1, n}) \quad (1)$$

и $\tau_0 = 0, \tau_1 = \bar{S}_1, \tau_2 = \bar{S}_1 + \bar{S}_2, \dots, \tau_n = \bar{S}_1 + \dots + \bar{S}_n$, для всех $k \tau_k = \tau_{k+n}$.

Функция $\underline{S}(x, t)$ с периодом τ_n называется кубическим интерполяционным сплайном для набора данных (τ, τ_i) ($i = \overline{1, N}$) по разбиению $\Delta_n = \{\tau_0 < \tau_1 < \dots < \tau_{n-1} < \tau_n\}$, если она имеет две непрерывные производные на всей оси, и на каждом из промежутков $[\tau_{i-1}, \tau_i]$ ($i = \overline{1, n}$) совпадает с алгебраическим многочленом степени не выше 3 и удовлетворяет интерполяционным условиям

$$\underline{S}(x, \tau_i) = x_i \quad (i = \overline{0, n}).$$

Аналогично определяется сплайн $\underline{S}(y, t)$.

Параметрически заданная функция $(\underline{S}(x, t), \underline{S}(y, t))$ называется параметрическим кубическим интерполяционным сплайном (рис.2).

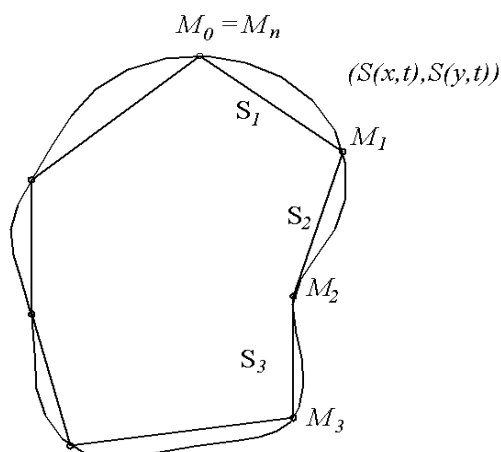


Рисунок 2 – Вид параметрического сплайна

Известно [2], что если $t \in [\tau_i, \tau_{i+1}]$ ($i = \overline{0, n-1}$), то сплайн $\underline{S}(x, t)$ можно записать в виде

$$S(x, t) = x_i(1 - \nu) + x_{i+1}\nu - \frac{\nu(1 - \nu)}{6} S_{i+1}^2 ((2 - \nu)M_i + (1 + \nu)M_{i+1}), \quad (1)$$

где $\nu = (t - \tau_i) / \bar{S}_i$, а числа M_i , которые называют вторыми моментами сил, определяются из условий непрерывности производной сплайна в узлах τ_i ($i = \overline{1, n}$) (в силу (1) вторые производные непрерывны всегда).

Хорошо также известно [2], что M_i однозначно определяются из следующей системы уравнений

$$\begin{cases} M_0 = M_n \\ \mu_i M_{i-1} + 2M_i + \lambda_i M_{i+1} = 3E_i \\ M_{n+1} = M_1 \end{cases} \quad (i = \overline{1, n}) \quad (2)$$

где

$$\mu_i = \frac{\bar{S}_i}{\bar{S}_i + \bar{S}_{i+1}}, \quad \lambda_i = 1 - \mu_i \quad (i = \overline{1, n})$$

и

$$E_i = \frac{2}{\bar{S}_i + \bar{S}_{i+1}} \left(\frac{x_{i+1} - x_i}{\bar{S}_{i+1}} - \frac{x_i - x_{i-1}}{\bar{S}_i} \right) \quad (i = \overline{1, n}).$$

Матрица системы (2) имеет трехдиагональную структуру, т.е. все числа, кроме главной и двух соседних диагоналей, исключая два последние уравнения, будут нули. Причем, если в каждой строке от элемента главной диагонали (это числа 2) отнять сумму модулей всех других элементов ($2 - (\mu_i + \lambda_i) = 1$), то получится число 1, отличное от нуля. Поэтому система (2) всегда имеет единственное решение, которое можно найти одним из методов прогонки [2] и реализовать даже на мини-ЭВМ.

Решив эту систему мы найдем числа M_i , а следовательно и явную форму задания сплайна $S(x, t)$ на каждом промежутке, подставив найденные значения в (1).

Точно также строится сплайн $S(y, t)$. Для этого необходимо снова решить систему уравнений (2), изменив в ней лишь числа E_i , т.е. положить

$$E_i = \frac{2}{\bar{S}_i + \bar{S}_{i+1}} \left(\frac{y_{i-1} - y_i}{\bar{S}_{i+1}} - \frac{y_i - y_{i-1}}{\bar{S}_i} \right) \quad (i = \overline{1, n}).$$

Таким образом, получается параметрический сплайн, проходящий через точки контура детали. И теперь, если надо увеличить количество опорных точек, например в 10 раз, достаточно при каждом x_i в формуле (1) и аналогичной ей формуле для $S(y, t)$, положить ν - 0,1; 0,2; ... 0,9; 1,0 (рис.3).

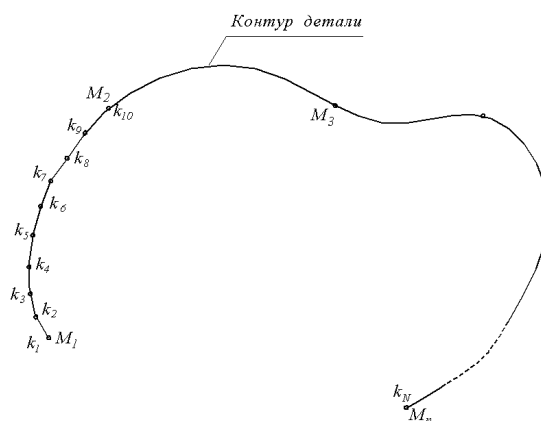


Рисунок 3 – Пополнение опорных точек с помощью параметрических кубических сплайнов

Такой метод пополнения опорных точек контролирует нас в том смысле, что каждая десятая точка это предыдущая точка.

На этапе подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ, в зависимости от вида исходной информации и от поставленных задач, сплайны позволяют с заданной точностью записывать исходный контур, контуры поверхностей деталей на промежуточных и окончательных переходах. Значительный эффект достигается при описании гладких кривых, которые характерны для поверхностей деталей с аэродинамическими характеристиками.

Применение интерполяционных сплайнов создает предпосылки для автоматизации контрольных операций, когда возникает необходимость установить величину и направление отклонения при формообразовании пространственно-сложных поверхностей, например, при фрезеровании. Для практической реализации автоматизированного контроля возможно применение контактных измерительных систем для станков с ЧПУ Renishaw [4]. По управляющей программе указываются ранее известные интерполяционные точки, например на предпоследнем технологическом переходе, и, после измерения, вычисляются величины необходимых корректирующих поправок. В современных системах ЧПУ металлорежущими станками имеются соответствующие возможности для обработки результатов измерений и автоматической коррекции управляющей программы.

Выводы. Рассмотренные методы и приемы описания геометрических параметров сложных контуров и поверхностей весьма эффективны при подготовке данных для ввода в компьютер системы подготовки управляющих программ для оборудования с ЧПУ, а также для реализации автоматизированного контроля точности обработки с использованием измерительных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизированная подготовка программ для станков с ЧПУ. Справочник/ Р.Э.Сафраган, Г.Б.Евгенов, А.Л.Дерябин и др.; Под общ. Ред. Р.Э.Сафрагана. – К.: Техніка, 1986. – 191с.
2. Завьялов Ю.С., Квасов Б.И., Мирошниченко В.Д. Методы сплайн функций. – М.: Наука.1980. – 352с.
3. Звьялов Ю.С., Леус В.А., Скороспелов В.А. Сплайны в инженерной геометрии. – М.: Машиностроение, 1985. – 224с.
4. Продукция компании Renishaw. Средства для управления технологическим процессом, повышения качества и производительности. Контактные системы для станков с ЧПУ. 2009.

Дніпродзержинський державний технічний університет

ФОРМУВАННЯ ГРУПИ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ ОБРОБКИ В УМОВАХ ГАВ

Вступ. У основі формування організаційно-технологічної структури гнучких автоматизованих виробництв (ГАВ) лежить аналіз, класифікація і групування усієї планованої до випуску номенклатури деталей. При цьому може бути варіант створення ГАВ на новому або повністю реконструйованому виробництві, або створення ГАВ у діючому виробництві з метою його переобладнання на більш високий технічний рівень.

Постановка задачі. Вся номенклатура деталей у всякому випадку підлягає класифікації за загальними критеріями геометричних форм, матеріалів, габаритних розмірів та маси. При цьому, чим ширша номенклатура деталей, яка підлягає класифікації, тим більше можливостей створення найбільш трудомістких групових процесів і спеціалізації обладнання. Наявність великої кількості найменувань деталей у групі забезпечує також найбільш повне завантаження обладнання. Для спеціалізації дільниць і цехів використовується інформація про деталі, а для встановлення спеціалізації ГАВ і окремих робочих місць – інформація про технологічні процеси. Тому треба обов'язково проводити класифікацію, уніфікацію та групування деталей у межах свого класу.

Результати роботи. При обробці деталей у ГАВ необхідно враховувати вимоги обробки, контролю, захоплення та транспортування заготовок і деталей, надійного прибирання стружки, максимального спрощення програмування, забезпечення сприятливих умов роботи ріжучого інструменту та ін. Чим вищий рівень уніфікації деталей, тим простіше і раціональніше організувати виробництво і наблизити його до вищої форми – безперервного потоку. Крім того, кодування та класифікація деталей необхідна для системної роботи: запозичення та уніфікація деталей, технологічних процесів, технологічного оснащення.

Класифікація на етапі вихідної інформації є первинною, а групування величин властивостей – вторинною.

В теперішній час деякі автори [1, 2, 3] займалися цими питаннями, але суть їх зводилася до того, що у всякому випадку при переході до обробки деталей в умовах ГАВ уся номенклатура деталей неодмінно підлягала первинній класифікації, систематизації і уніфікації деталей. Для первинної класифікації використовують багатоаспектну (фасетну) систему. Фасет має закодовану інформацію про властивості деталі. Її елементу даних служить ідентифікатором фасету. Яку кількість вносити у фасет інформації, що кодують (характеристик, властивостей), про деталі, яка має найбільший вплив на вибір методів і засобів обробки, вирішує проектувальник. При цьому слід мінімізувати кількість інформації, яку кодують, з метою її доцільності. Після обробки таких фасетів на ЕОМ створюються таблиці систематизації, які служать вихідним документом для первинного визначення спеціалізації цехів основного виробництва. Таким чином, структура цеху основного виробництва формується у два етапи. На першому етапі деталі групуються за загальністю конструктивно-технологічних характеристик, а на другому – за загальністю технологічних процесів і операцій.

Методи групування на першому і другому етапах різні, тому що відрізняються постановка задачі, глибина опису об'єктів виробництва і засобів представлення інформації.

Технологічний процес може бути визначений як об'єкт, який має внутрішню структуру. Загальновідома лінійна структура, алгоритм якої постає у наступному. На-

приклад, у цеху треба обробити N деталей, кожна з яких має технологічні операції у вигляді ланцюжка O_1, O_2, \dots, O_n . Найдовший ланцюжок створюється у деталі, яка має найбільшу кількість операцій. Її і приймають за основного лідера. Для всіх останніх деталей групи перевіряються їх маршрути на співпадання з маршрутом основного лідера. При аналізі можливостей приєднання може бути пропущення операцій, але послідовність повинна бути такою ж. Деталь, маршрут якої не вписується в маршрут основного лідера, вважається другим лідером. Таким чином визначаються лідери та їх групи для всієї номенклатури деталей.

Такий метод групування визначає структуру дільниць і цехів на основі типової технології поточного виробництва. Недоліком такого методу є жорстка послідовність операцій, тобто, якщо у вихідних технологічних процесах різна послідовність але однаковий склад операцій, все одно необхідно запроваджувати допоміжне обладнання. І, крім того, таке формування груп деталей, як правило, не є достатнім для створення багатопредметних поточних ліній з ефективним завантаженням обладнання.

Такого недоліку не має другий метод формування деталей – метод графів-структур [3]. Цей метод розширює можливості підбору деталей для формування багатомісцевих поточних ліній.

Групування графів проводиться у три етапи. На першому етапі все сімейство деталей-графів розподіляється на групи, які не перетинаються, і допоміжні фонди деталей, що не входять в жодну групу. Кожна група повинна мати графа-лідера, а останні деталі, які входять в цю групу, є підграфами лідера-графа. Тобто, для усякої групи деталей, яка має лідера, можна розробити технологічний процес виготовлення деталі-лідера і по цьому ж маршруту обробляти деталі цієї групи з пропусками окремих операцій. На другому етапі уже проводиться об'єднання груп навколо одного лідера, якого можна створити штучно завдяки допоміжним зв'язкам. На третьому етапі проводиться об'єднання структур графів і створюється синтезований граф-лідер за допомогою накладання допоміжних зв'язків і вершин (операцій). Таке об'єднання проходить до того часу, поки показники завантаження обладнання не покращуються. На протязі роботи усього алгоритму об'єднання проводиться перевірка сформованих груп по завантаженню верстатів за формулою:

$$S = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \frac{\sum_{j=1}^N a_{ij}}{[\sum_{j=1}^N a_{ij} + 1]} \cdot \beta_j,$$

де M – кількість вершин-графів (операцій);

N – кількість деталей у групі;

$a_{i,j}$ – верстатоемкість i -ої деталі на j -му обладнанні;

$[]$ – ціла частина числа;

β_j – коефіцієнт, який враховує ступінь важливості недозавантаження j -го виду обладнання.

Якщо завантаження $S \geq 0.5$, то група вважається сформованою, якщо ні – продовжується збільшення груп. При впровадженні групової технології навіть $S = 0,4$ є достатнім і можна відкривати гнучке автоматизоване виробництво з урахуванням перспектив зросту виробництва.

В останні роки з'явилася ціла когорта верстатів з ЧПК типу “Обробляючий центр”, особливо токарних [4]. Токарні багатошпиндельні верстати з ЧПК та обробляючі центри дозволяють виконувати великий спектр операцій, як токарних, так і свердловально-фрезерних і навіть шліфувальних. Ці верстати мають автономні приводи кожного шпинделя, хрестові столи з незалежним керуванням супортів, оригінальні револьверні головки для інструментів. Більшість верстатів використовує модульний прин-

цип компонування. На таких верстатах, також як і на багатоопераційних для обробки корпусних деталей, дуже висока концентрація операцій, і тому формування груп деталей для обробки буде спрощене і обмежене тільки за рахунок кількості інструментів. Питання формування груп деталей для таких умов роботи будуть залежати більш від технологічних факторів, ніж від конструктивних.

Висновки. Формування деталей однакових і схожих за конструктивними та технологічними ознаками у групи в межах свого класу дозволяє за одним маршрутом деталі-лідера обробляти усі деталі, які входять у цю групу, і таким чином скоротити затрати на розробку технологічних маршрутів. Крім того, обробка групи деталей за однією технологією дозволяє використовувати одні й ті ж наладки, пристосування, інструменти і взагалі обробляти деталі за допомогою загальних сучасних та ефективних методів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Митрофанов С.П. Групповая технология машиностроительного производства. В 2-х т. Т.1. Организация группового производства. 3-е изд. перераб. и доп. – Л: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1983. – 407с.
2. Организационно-технологическое проектирование ГПС/ Под ред. С.А.Майорова. Л: Машиностроение. – 1986. – 294с.
3. Г.А.Киселев, В.Ю.Гуленков. Гибкие производственные системы в машиностроении. – М.: Изд-во стандартов. – 1987. – 288с.
4. Харченко А.О. Станки с ЧПУ и оборудование гибких производственных систем: Учебное пособие для студентов вузов. – КИД: „Профессионал”. – 2004. – 304с.

УДК 621.9.06.229.2

СІЛКІН В.П., к. т. н., доцент
СОЛОД В.Ю., к. т. н., доцент

Дніпродзержинський державний технічний університет

ВИСОКОПРОДУКТИВНИЙ МЕТОД ЧОРНОВОЇ ОБРОБКИ ШЕСТИРЕНЬ КОНІЧНИХ ПЕРЕДАЧ ІЗ КРУГОВИМИ ЗУБАМИ

Вступ. Відомо [1, 2], що обробка конічних зубчастих коліс методом копіювання у два рази продуктивніша, ніж методом обкатування.

Однак обробка шестірні, тобто елемента пари з меншою кількістю зубів, методом копіювання неможлива, тому що при куті її початкового конуса (φ), меншого або рівного 45° , залишаються необробленими ділянки по дну западини зуба, довжина яких зростає зі збільшенням кута φ .

Постановка задачі. З показаної на рис.1 схеми формування западини зуба методом обкатування виходить, що при повороті люльки верстата на кут, рівний $16-18^\circ$, тобто на половину її робочого ходу, різці зуборізної головки ще не доходять до остаточно обробленого профілю западини зуба шестерні. Тому ділянку западини зуба можна обробляти більш продуктивним методом копіювання. Таким чином, обробку западини зуба можна розбити на два етапи: перший – обробка западини зуба методом копіювання, другий – методом обкатування. Отже, ділянка западини зуба, оброблювана методом обкатування, знижується у два рази у порівнянні з обробкою западини зуба тільки методом обкатування.

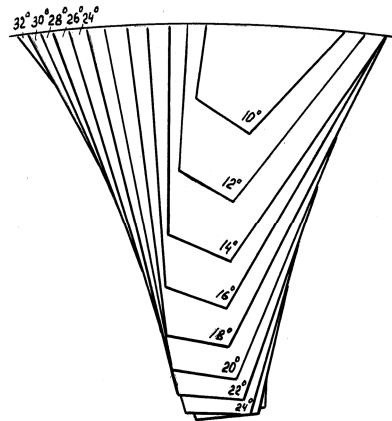
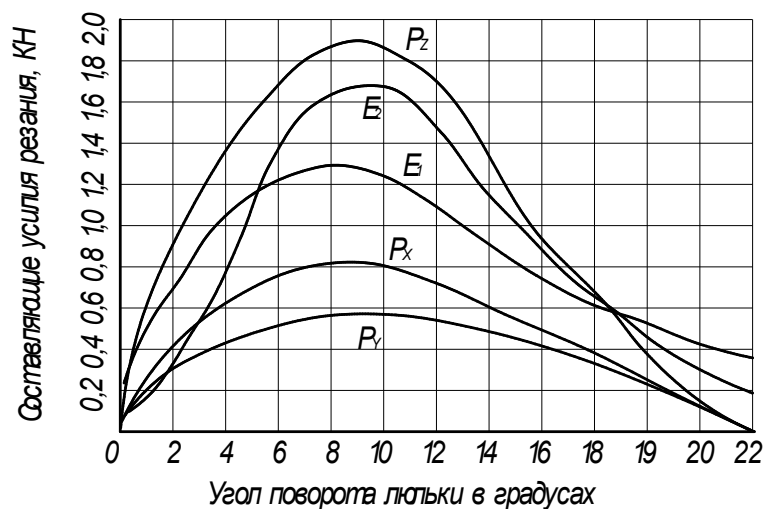


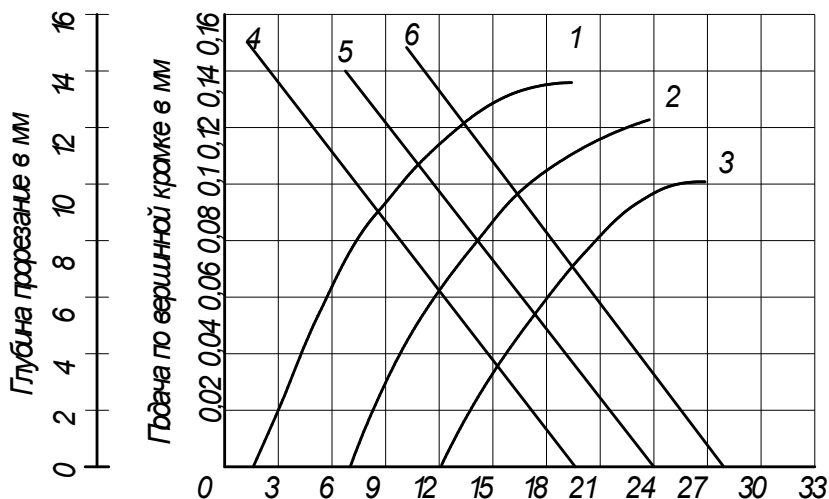
Рисунок 1 – Формування западини зуба методом обкатування

З діаграм зміни складових зусилля різання і температури різання в процесі формування западини зуба методом обкатування, наведених на рис.2, виходить, що в другій половині циклу обробки западини зуба спостерігається значне зниження складових зусилля різання і температури різання, тому на ньому обробку западини зуба можна робити більш інтенсивно. Це підтверджується також і діаграмами зміни товщини шарів, що зрізуються, при обробці западини (рис.3), з яких видно, що по мірі заглиблення різців у заготовку товщини шарів, що зрізуються верхньою ріжучою кромкою різців, знижуються. Розглянуте вище підтверджує, що при обробці методом обкатування, здійснюваного в другій половині циклу формування западини зуба, величина подачі по верхній ріжучій кромці значно нижча. Тому без шкоди можна скоротити час обробки на цій ділянці, завдяки чому додатково збільшити ефективність запропонованого методу чорнової обробки. З діаграм рис.3 також виходить, що товщини шарів, які видаляються із дна западини зуба заготовки, знижуються в напрямку до її заднього торця. Це також підтверджує можливість зниження часу обробки на цій ділянці циклу.



P_z , P_x , P_y – відповідно тангенціальна, осьова і радіальна складові зусилля різання; E_1 – термо-э.д.с. природної термопари різець–деталь; E_2 – термо-э.д.с. штучної термопари, установленної на передній поверхні різця біля верхньої ріжучої кромки

Рисунок 2 – Зміни складові зусилля різання і температури різання в процесі формування западини зуба методом обкатування



1, 2, 3 – зміни глибини западини зуба в переднього торця, посередині і у заднього торця; 4, 5, 6 – зміни товщини шарів, що зрізуються, у переднього торця, посередині і у правого торця западини зуба

Рисунок 3 – Зміни товщини шарів, що зрізуються, у процесі формування западини зуба методом обкатування

Циклограми роботи зуборізного верстата при обробці шестірень методами копіювання, обкатування і розглянутим методом показані на рис.4.

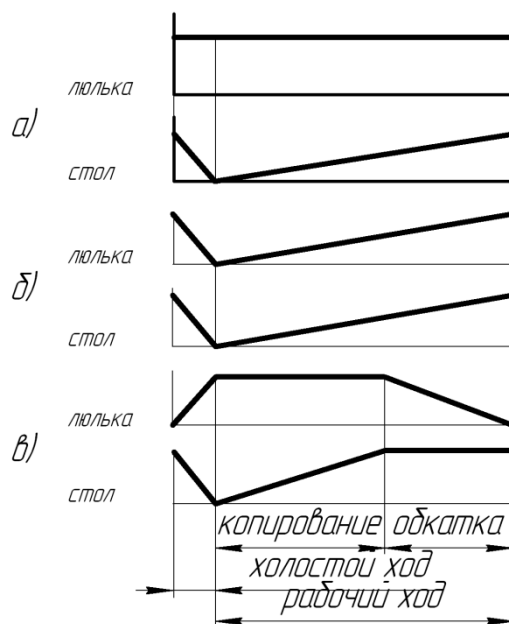


Рисунок 4 – Циклограми роботи зуборізного верстата методами копіювання, обкатки і при послідовній обробці западини зуба методом копіювання і обкатування

Як видно на циклограмах (рис.4, а), при обробці зубчастих коліс методом копіювання люлька верстата за час обробки зуба залишається нерухомою, а стіл переміщується зі швидкістю лінійної подачі на величину, що відповідає висоті оброблюваних зубів. При обробці шестірень методом обкатування (циклограми рис.4, б) люлька вер-

тата під час робочого ходу робить обертовий рух обкатування, а стіл верстата залишається в підведеному положенні. При обробці шестірні розглянутим методом (циклограми рис.4, в) у першій половині робочого ходу верстата люлька залишається нерухомою в кутовому положенні, що відповідає половині його кута хитання при обробці методом обкатування, а стіл верстата переміщується зі швидкістю лінійної подачі. Після пересування стола на величину, трохи більшу половини висоти оброблюваних зубів, стіл зупиняється і починається друга половина циклу обробки зуба, під час якої стіл залишається нерухомим, а люлька верстата і оброблювана шестірня роблять рухи обкатування.

Чорнова обробка шестірень розглянутим методом на застосовуваних в промисловості верстатах для обробки конічних зубчастих коліс можлива тільки після відповідної їхньої модернізації.

Зуборізні верстати, що використовуються у промисловості для обробки конічних зубчастих коліс, можуть бути старої гами та нової, яка значно відрізняється від старої за конструкцією. Тому модернізація верстатів, необхідна для здійснення чорнової обробки шестірень розглянутим методом, відрізняється істотно.

Результати роботи. Незважаючи на розходження конструкцій верстатів, що передували їм новій гамі, наприклад, моделей 5A27C1 або 528C, їх модернізація, необхідна для послідовної обробки западини зуба шестірні методами копіювання і обкатування, практично однакова. Верстати мають одномоторний привод для ланцюга головного руху і подачі. Тому вимикання руху обкатування під час робочого ходу верстата, необхідне при обробці розглянутим методом, повинно призвести до припинення головного руху (обертання зуборізної головки). Крім того, циліндричний кулачок у приводі подачі верстата конструктивно об'єднаний з механізмом керування, тому застосування його при обробці розглянутим методом неможливе. З цієї ж причини підлягають модернізації механізм подачі верстата і система керування циклом його роботи.

У модернізованому верстаті необхідний механізм подачі із силовим слідкувальним гідравлічним приводом. Силовий слідкувальний гідравлічний привод, наявний на зуборізних верстатах нової гами, складається із слідкувальної золотникової системи і силового гідроциліндра. У якості останнього може бути використаний наявний у модернізованому верстаті гідроциліндр, призначений для підведення і відводу стола верстата в крайні положення. Як слідкувальний золотник можна використовувати гідророзподільник, що широко застосовується в гідравлічній апаратурі верстатів.

Керування циклом роботи верстата повинно виконуватися за допомогою окремого малогабаритного пристрою, наприклад, для верстата моделі 5C270П, конструктивна схема якого показана на рис.5.

Як видно на рис.5, на вихідному валу редуктора стандартної конструкції 12 встановлений змінний кулачок 9. Редуктор 12 одержує рух від електродвигуна постійного струму потужністю 100 Вт. На верстаті редуктор 12 закріплюється за допомогою кронштейна. Від змінного кулачка 9 через ролик 8 рух передається важелю 5, зв'язаному шарнірно з балкою 14 та закріпленою на кронштейні 14. На важелі 5 установлений повзун 7, що може переміщатися по напрямних важеля 5. При цьому змінюється радіус контакту гвинта 6 повзуна з важелем 4, закріпленого шарнірно на кронштейні 2. На кронштейні 2, жорстко зв'язаному зі столом верстата 3, установлений гідравлічний розподільник 1 стандартної конструкції, що виконує роль слідкуючого золотникового пристрою.

За допомогою гідравлічного розподільника 1 регулюється кількість і напрямок надходження масла в гідравлічний циліндр верстата.

При обертанні кулачка 9 важіль 5 повертається і зміщає важіль 4, при цьому золотник гідравлічного розподільника 1 зміщається з нейтрального положення, робоча

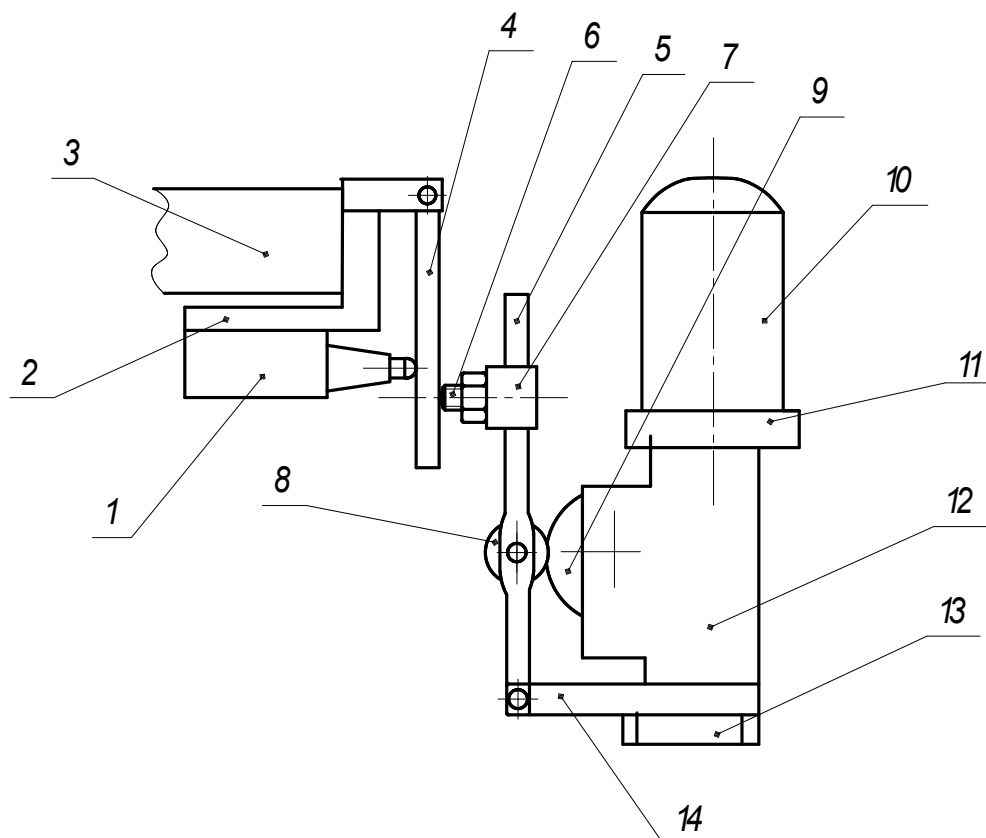


Рисунок 5 – Додаткові пристрої для верстата моделі 5A27C1 при обробці западини зуба шестірні методами копіювання і обкатування

рідина починає надходити в порожнину гідравлічного циліндра, що відповідає напрямку зсуву золотника. Шток гідравлічного циліндра починає переміщати стіл верстата в тому ж напрямку і на ту ж величину. При досягненні золотником нейтрального положення шток гідравлічного циліндра зупиняється. Таким чином, стіл верстата переміщається відповідно до кута повороту важеля 5, регульованим повзуном 7. Змінюючи форму робочої поверхні кулачка 9, можна в широких межах змінювати закономірність переміщення стола верстата.

Зсув стола верстата, необхідний при зміні висоти різців зуборізної головки, виконується поворотом гвинта 6 на повзуні 7.

Початок роботи ходу верстата повинен відбуватися при певному кутовому положенні люльки верстата. Для його забезпечення на верстаті встановлений додатковий гальмовий пристрій у вигляді стрічкового гальма, керованого гідравлічним циліндром. Диск гальма виготовлений збірної конструкції і встановлений на валу привода люльки верстата.

Для відключення руху обкатування в необхідний момент циклу обробки зуба наявна в приводі обкатування верстата фрикційна муфта повинна бути переключена в нейтральне положення. Для цього в гідравлічну схему верстата вбудований додатково гідравлічний розподільник з електричним керуванням стандартної конструкції.

Верстати нової гами, наприклад 5С270П, мають роздільні електроприводи обертання зуборізної головки і механізму подачі - керування.

Висновки. Модернізація цих верстатів для можливості здійснення чорнової обробки зуба шестірні послідовно методами копіювання і обкатування полягає в установ-

ці на верстаті додаткового привода кулачка механізму подачі стола і пристрою керування переміщенням рухливих його кутів.

У верстатах нової гама механізми подачі і керування циклом роботи верстата приводяться в дію від одного електродвигуна. Механізм подачі виконаний у вигляді силового слідкуючого гідравлічного привода, що складається з гідроциліндра, шток якого з'єднаний зі столом верстата, і слідкуючого золотника, що робить керуючий вплив на переміщення штока. Керуючий вплив на слідкуючий гідропривод верстата робить змінний кулачок механізму керування. Щоб у потрібний момент циклу обробки зуба шестірні зупинити кулачок, потрібно виключити механізм керування, що неможливо. Тому змінний кулачок приводиться в дію від окремого привода, що складається з малогабаритного редуктора, наприклад, застосованого при очищенні МОР невеликих шліфувальних верстатів, і регульованого електродвигуна постійного струму потужністю 100 Вт.

Модернізація зуборізного верстата для обробки шестірень викладеним вище методом доступна для будь-якого машинобудівного підприємства.

ЛІТЕРАТУРА

1. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. Часть 2. – М.: Машиностроение, 1974, 194с.
2. Калашников С.Н. Зуборезные резцовые головки. – М.: Машиностроение, 1972, 161с.

УДК 621.9.06.229.2

СІЛКІН В.П., к. т.н., доцент
СОЛОД В.Ю., к. т.н., доцент

Дніпродзержинський державний технічний університет

ОПТИМІЗАЦІЯ ЧОРНОВОЇ ОБРОБКИ КОНІЧНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС ІЗ КРУГОВИМИ ЗУБАМИ В УМОВАХ ДРІБНОСЕРІЙНОГО І СЕРІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

Вступ. Однією із причин недостатньої продуктивності верстатів для обробки конічних зубчастих коліс в умовах дрібносерійного і серійного виробництв є відсутність нормативних матеріалів по призначенню режимів різання.

Якщо при точінні, фрезеруванні і при багатьох інших видах обробки різанням нормативним елементом режиму різання є подача, то при обробці зубів конічних передач ним служить тривалість робочого ходу верстата. Її значення відомо тільки для умов багатосерійного і масового виробництв [1, 2]. Тому в більшості випадків настроювання зуборізного верстата виконується, виходячи з досвіду (іноді недостатнього) робітника, який обслуговує верстат.

Постановка задачі. Для створення умов для раціонального використання зуборізного верстата вводиться поняття «лінійна подача» при обробці методом копіювання і «кутова подача» – при обробці методом обкатування.

Результати роботи. Величину лінійної подачі на один різець зуборізної головки при обробці методом копіювання можна визначити з наступної залежності:

$$S_z = \frac{0,1884 \cdot h \cdot D_a}{V \cdot t_{\delta\delta} \cdot z_{i\ddot{a}i}}, \text{ мм/різець,} \quad (1)$$

де h – величина ходу стола, що відповідає глибині западини оброблюваних зубів, мм;
 D_e – діаметр зуборізної головки, мм;
 V – швидкість різання, м/хв;
 t_{px} – тривалість робочого ходу стола, с;
 $z_{одн}$ – кількість однойменних (зовнішніх або внутрішніх) різців в зуборізній головці.

Для визначення величини кутової подачі можна скористатися наступною залежністю:

$$\Theta = \frac{0,188 \cdot z_{i\delta} \cdot D_a \cdot \varphi_{\epsilon}}{t_{\delta\delta} \cdot z_{\sigma} \cdot V \cdot n_{i\delta i}}, \text{ град./різ.} \quad (2)$$

де φ_{δ} – кут хитання колиски верстата, град.;

z_{np} – число зубів виробляючого колеса;

V – швидкість різання, м/хв;

D_e – діаметр зуборізної головки, мм;

t_{px} – тривалість обробки зуба шестерні, с;

$z_{ш}$ – число зубів шестерні;

$n_{одн}$ – кількість однойменних (зовнішніх або внутрішніх) зубів у зуборізній головці, шт.

Із залежностей (1) і (2) виходить, що тривалість робочого ходу верстата не служить нормативом режиму різання, а є похідною від таких елементів режиму різання, як швидкість різання і величина подачі.

У залежності (1) наведена подача по верхній ріжучій кромці зуборізного різця. У процесі формування западини зуба методом копіювання, як видно на рис.1, довжина шарів, що зрізуються верхньою ріжучою кромкою різця, постійна, а що зрізується бічною ріжучою кромкою – зростає в міру заглиблення різців у заготовку. Тому повинні збільшуватися складові зусилля різання і температура різання. Виходячи із цього, величина подачі повинна призначатися з урахуванням процесів, що відбуваються на найбільш навантаженій ділянці западини оброблюваного зуба.

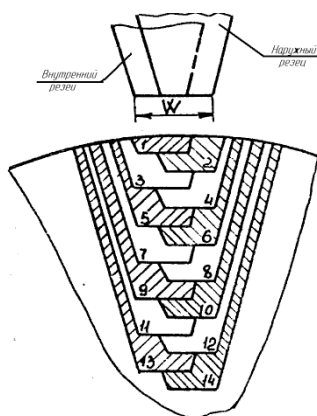


Рисунок 1 – Схема формування западини зуба при чорновій обробці методом копіювання двосторонньою зуборізною головкою

Про зміни величин складових зусилля різання в процесі формування западини зуба методом копіювання можна судити по діаграмах, отриманих за допомогою динамометричної зуборізної головки [3] і наведених на рис.2.

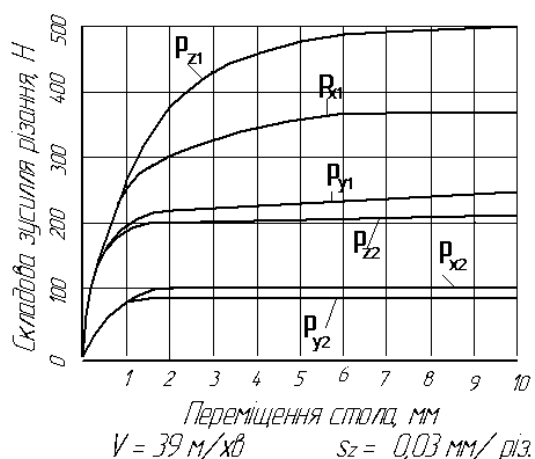


Рисунок 2 – Зміни складових зусилля різання в процесі формування западини зуба методом копіювання

З діаграм рис.2 випливає, що якщо у різанні буде брати участь тільки верхня ріжуча кромка зуборізного різця, тоді складові зусилля в процесі формування западини зуба практично не змінюються. Аналогічна картина буде при обробці тристоронніми зуборізними головками, які застосовуються в умовах багатосерійного і масового виробництва. У цих головках є середні різці, що зрізують стружку тільки верхньою ріжучою кромкою. У результаті обробки експериментальних даних отримані наступні залежності, що характеризують зміни складових зусилля різання при формуванні западини зуба двосторонньою зуборізною головкою з різцями зі швидкорізальної сталі:

$$P_z = A_z \cdot h^{0,39} \cdot S_a^{0,8}, \text{ Н}; \quad (3)$$

$$P_x = A_x \cdot h^{0,4} \cdot S_a^{0,9}, \text{ Н}; \quad (4)$$

$$P_o = A_o \cdot h^{0,38} \cdot S^{1,05}, \text{ Н}; \quad (5)$$

де P_z, P_x, P_y – відповідно тангенціальна, осьова і радіальна складові зусилля різання, Н;
 A_z, A_x, A_y – коефіцієнти, постійні за певних умов обробки;
 h – глибина прорізаної западини зуба, мм;
 S – подачі, мм/зуб.

Із залежностей (3)-(5) випливає, що в міру заглиблення різців у заготовку (збільшення глибини прорізаної западини зуба) складові зусилля різання зростають значно повільніше, а зі збільшенням подачі тангенціальні і осьова складові зусилля різання зростають трохи повільніше, а радіальна – пропорційно їй.

Знання тангенціальної складової зусилля різання необхідні для розрахунку потужності двигуна механізму привода зуборізної головки; радіальна складова зусилля різання використовується при розрахунку міцності зуборізних різців, а осьова складова – при розрахунку привода подачі верстата.

У результаті проведених досліджень температурних залежностей з використанням методів природної, перерізуваної і штучної термопар [4] отримано наступні залежності, що характеризують зміни усередненої температури різання (T_{cp}), температури різання на верхній частині зуборізного різця (T_e) і температури на ріжучій кромці різця (T_k) у процесі формування западини зуба двосторонньою зуборізною головкою методом копіювання:

$$\dot{O}_{\dot{h}\dot{d}} = \hat{A}_1 \cdot h^{-0,24} \cdot S^{0,8} \cdot V^{0,7}, \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (6)$$

$$\dot{O}_{\dot{a}} = \hat{A}_2 \cdot h^{-0,25} \cdot S^{1,45} \cdot V^{1,05}, \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (7)$$

$$\dot{O}_{\dot{e}} = \hat{A}_3 \cdot h^{-0,24} \cdot S^{1,45} \cdot V^{1,45}, \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (8)$$

де B_1, B_2, B_3 – коефіцієнти, постійні для умов проведення експериментів;

h – глибина прорізаної западини зуба, мм;

S – подача, мм/зуб;

V – швидкість різання, м/хв.

Із залежностей (6)-(8) випливає, що в умовах проведення експериментів по мірі заглиблення різців у заготовку з постійною швидкістю різання і лінійною подачею усереднена температура різання зростає трохи повільніше, температура на передній поверхні різця – приблизно пропорційно, а температура на бічній ріжучій кромці збільшується більш інтенсивно, ніж збільшується глибина западини зуба. Зі збільшенням подачі середня температура різання зростає приблизно пропорційно. Температура на бічній ріжучій кромці і передній поверхні різця зростає більш інтенсивно, ніж збільшується подача на різець. Зі збільшенням швидкості різання температура різання зростає більш інтенсивно.

З розглянутого вище виходить, що у процесі формування западини методом копіювання спостерігається зміна складових зусилля різання і температури різання в широких межах, а тому необхідна програмована зміна елементів режиму різання.

У гама зуборізних верстатів, що випускаються вже біля сорока років, механізм подачі має легкознімний дисковий кулачок, за допомогою якого можна в широких межах змінювати закономірність переміщення стола верстата при чорновій обробці методом копіювання.

Як встановлено в роботі [5], при чорновій обробці методом копіювання з постійною площиною шарів, що зрізуються, у процесі формування западини зуба стабілізуються складові зусилля різання і температура різання.

Поточні значення лінійної подачі в цьому випадку можуть бути знайдені із наступної залежності:

$$S_z = \frac{\sqrt{(\hat{a} + h \cdot \text{tg} \alpha_{np}) + 2 \cdot f \cdot \text{tg} \alpha_{np}} - (\hat{a} + h \text{tg} \alpha_{np})}{\text{tg} \alpha_{np}}, \text{ мм/зуб}, \quad (9)$$

де v – довжина верхньої ріжучої кромки різця, мм;

h – глибина обробленої западини зуба, мм;

f – площа поперечного перерізу шарів, що зрізуються, мм²;

α_{np} – профільний кут різця, град.

Площа поперечного перерізу f шарів, що зрізуються, може бути знайдена з наступної залежності:

$$f = \frac{0,1884(b + 0,5H^2 \text{tg} \alpha_{np}) \cdot t_{px} \cdot n_{одн} \cdot D_z}{V} = const, \quad (10)$$

де H – повна глибина западини зуба, мм;

t_{px} – тривалість циклу обробки зуба, с;

$n_{одн}$ – кількість однойменних (зовнішніх і внутрішніх) різців в зуборізній головці, шт.

Після підстановки поточних значень s_b у залежності (3)-(5) можна відзначити, що при обробці зі сталістю площ перетину шарів величини, що зрізуються, складові зусилля різання в процесі формування западини зуба не змінюються.

Із залежності (10) випливає, що на початку, середині і наприкінці циклу формування западини зуба величини лінійної подачі відповідно дорівнюють 1,9; 1,0 і 0,7 від одержуваної при обробці з рівномірною подачею. Тому доцільно в першій половині циклу обробки робити рівномірною подачу, а у другій – зі сталістю площ шарів, що зрізуються. Завдяки цьому можна збільшити продуктивність обробки зубів при зниженні граничних значень складових зусилля різання і температури різання.

При чорновій обробці методом обкатування, здійснюваної на наявних у промисловості верстатах з постійною швидкістю різання і рівномірною кутовою подачею, у процесі формування западини зуба товщини шарів, що зрізуються, як видно з рис.3, змінюються в широких межах. Це повинно призвести до більших змін складових зусилля різання, температури різання і, як наслідок цього, до зниження продуктивності обробки в порівнянні із чорною обробкою методом копіювання.

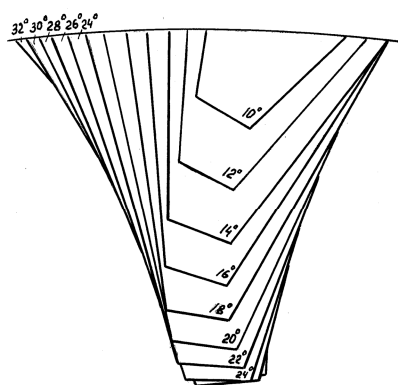


Рисунок 3 – Схема формування западини зуба при чорновій обробці методом обкатування

З діаграм, наведених на рис.4, виходить, що в процесі формування западини зуба з постійною швидкістю обкатування до досягнення центра обкатування відбувається інтенсивне зростання всіх трьох складових зусилля різання і температури різання, вимірюваної методами природної і штучної термопар, потім їх зниження аж до закінчення процесу обкатування. Характерні приблизно однакові закономірності зміни температури різання і складових зусилля різання в процесі формування западини зуба. Найбільші значення, як і при обробці методом копіювання, має тангенціальна складова зусилля різання, а найменші – радіальна складова зусилля різання.

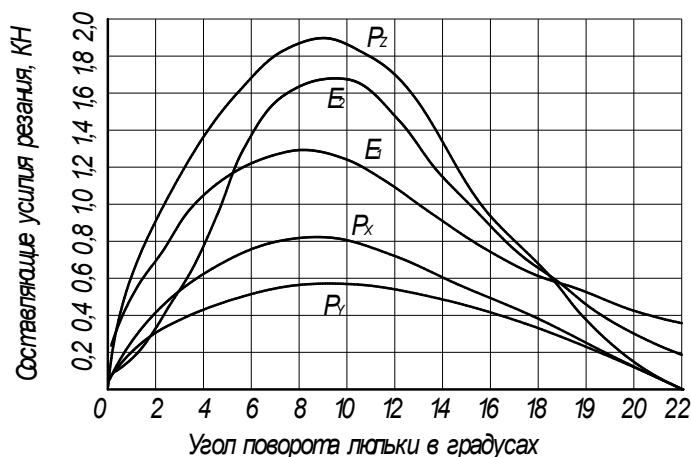
У результаті проведених досліджень [6] встановлено наступні закономірності між кутовою величиною, кутовою подачею і складовими зусилля різання:

$$P_z = C_z \cdot Q^{0,94}, \text{ Н}; \quad (11)$$

$$P_x = C_x \cdot Q^{0,76}, \text{ Н}; \quad (12)$$

$$P_y = C_y \cdot Q^{0,75}, \text{ Н}; \quad (13)$$

де C_z, C_x, C_y – коефіцієнти, постійні в умовах проведення експериментів.



P_z, P_x, P_y – відповідно тангенціальна, осьова й радіальна складові зусилля різання; E_1 – термо-е.д.с. природної термопари різець-деталь; E_2 – термо-е.д.с. штучної термопари, установленної на передній поверхні різця у верхньої ріжучої кромки

Рисунок 4 – Зміни складових зусилля різання і температури різання при чорновій обробці методом обкатування

Із залежностей (11)-(13) виходить, що зі збільшенням кутової подачі тангенціальна складова зусилля різання зростає приблизно пропорційно, осьова і радіальна – трохи повільніше.

Вплив кутової подачі на усереднену температуру різання при обробці зуборізними головками з різцями зі швидкорізальної сталі характеризується залежністю

$$T = C \cdot Q^{0,47}, \text{ град/різ} \quad \text{при } 0,15 < Q < 0,4, \quad (14)$$

де C – коефіцієнт, постійний в умовах проведення експериментів.

Із залежності (14) виходить, що зі збільшенням кутової подачі усереднена температура різання зростає значно повільніше.

У результаті виміру температури різання методом термопари, що перерізається, отримана наступна залежність між кутовою подачею і температурою на бічній ріжучій кромці зуборізного різця із швидкорізальної сталі:

$$T = D \cdot Q^{1,32}, \text{ град/різ} \quad \text{при } 0,15 < Q < 0,4, \quad (15)$$

де D – коефіцієнт, постійний для умов проведення експериментів.

За допомогою штучної термопари отримана наступна залежність між величиною кутової подачі і температурою на передній поверхні різця поблизу його верхньої ріжучої крайки:

$$T = E \cdot Q^{1,2}, \text{ град/різ} \quad \text{при } 0,1 < Q < 0,3, \quad (16)$$

де E – коефіцієнт, постійний для умов проведення експериментів.

Із залежностей (15) і (16) виходить, що зі збільшенням кутової подачі температура на ріжучій кромці різця зростає більш інтенсивно.

Висновки. З розглянутого вище виходить, що протягом процесу формування западини зуба значно змінюються умови обробки, які можуть бути оптимальними тільки для певної ділянки циклу обробки зуба. Тому для підвищення продуктивності або для поліпшення умов різання здійснюється програмована зміна величини кутової подачі в процесі формування западини зуба. Це можна здійснити на верстатах моделі 5С270П, що має регульований від сільсина електропривод механізму подачі. За допо-

могою змінного кулачка можна програмовано змінювати величину кутової подачі в процесі обробки зуба. В інших моделях верстатів для цього необхідно зробити їхню подібну модернізацію.

Чорнову обробку шестірень, елемента конічної пари з меншим числом зубів, можна робити новим методом обробки, названим комбінованим, при якому на початку западина зуба обробляється методом копіювання, а її частина, що залишилася, – методом обкатування. При цьому досягається значне підвищення продуктивності обробки зубів. Застосування комбінованого методу чорнкової обробки шестірень можливе після модернізації наявних у промисловості зуборізних верстатів. Модернізація верстата полягає в установці додаткового малогабаритного привода подачі і кулачка керування. Подібна модернізація верстата доступна по складності на будь-якому машинобудівному підприємстві.

ЛІТЕРАТУРА

1. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. Часть 2. – М.: Машиностроение, 1974, 194с.
2. Калашников С.Н. Зуборезные резцовые головки. – М.: Машиностроение, 1972, 161с.
3. Силкин В.П. Новый метод измерения составляющих усилия резания при обработке конических колес с круговыми зубьями. – Сб. Прогрессивная технология машиностроения. Выпуск 45. Саратов: Саратовский политехнический институт, 1979. – С.139-145.
4. Силкин В.П., Левчук А.С. Исследования температуры резания при обработке конических зубчатых колес зуборезными головками. – Сб. Резание и инструмент, № 22. – Харьков: Вища школа, 1979. – С.17-25.
5. Иноземцев Г.Г., Ильин Н.М. Выбор оптимального закона изменения подачи при черновой обработке конических колес методом врезания. – Станки и инструмент, № 12, 1976. – С.27-32.
6. Силкин В.П., Пятяка В.А. Черновая обработка конических колес с круговыми зубьями с переменной угловой подачей – Сб. Технология и организация производства, № 3.- К.: УкрНИИНТИ, 1981. – С.39-40.

УДК 621.923.045

МОЛЧАНОВ В.Ф., к.т.н., доцент
ВОЛОДЬКО И.Ю., аспирант
ПИКУШ Т.В., магистр

Днепродзержинский государственный технический университет

АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ ПРИ ШЛИФОВАНИИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Введение. Современный этап развития машиностроения характеризуется совершенствованием процессов механической обработки. Механическая обработка деталей – сложный технологический процесс, протекающий при высоких скоростях, температурах и давлении. Главной целью механической обработки является получение деталей с заданной точностью и качеством поверхности. Одним из факторов, влияющих на качество поверхности, является волнистость и шероховатость. По внешнему виду обработанной поверхности, размерам, форме и характеру расположения шероховатостей

можно в определенной степени судить о явлениях, происходящих в процессе стружкообразования, то есть образования твердых частиц.

Постановка задачи. При изучении механизма образования шлифованной поверхности следует уделять внимание вопросу образования шероховатости и волнистости. С геометрической точки зрения шероховатость образуется в результате копирования на обрабатываемой поверхности траектории движения режущих абразивных зерен. Пластические деформации, происходящие в процессе резания, сильно искажают микрорельеф, получающийся в результате действия геометрических факторов.

Результаты работы. Геометрическая схема образования шероховатости при обычном шлифовании рассматривалась исследователями при определенных допущениях. Профессор А.А.Маталин [1] рассматривает образование шероховатости поверхности с учетом пластической деформации, геометрических факторов и вибрации в системе СПИД. Он считает, что при шлифовании металла каждое абразивное зерно, участвующее в резании, прорезает в металле канавку, соответствующую его размерам и форме. Высота шероховатостей, после каждой обработки абразивами, геометрически непосредственно связана с размерной характеристикой зерен. А.А.Маталин убедительно доказывает, что под действием высоких температур металл срезаемой стружки и обрабатываемой поверхности размягчается и покрывает прорезные риски бесформенными сгустками. Это явление в отдельных случаях может увеличивать высоту шероховатости, а в других, при более сильном тепловом воздействии, понижать.

Схема процесса царапания приведена на рис.1. Скругление царапающего элемента (радиус скругления ρ) обеспечивает высокую механическую прочность царапающего элемента, большие фактические углы резания - царапания и наличие неравенства $P_y > P_z$.

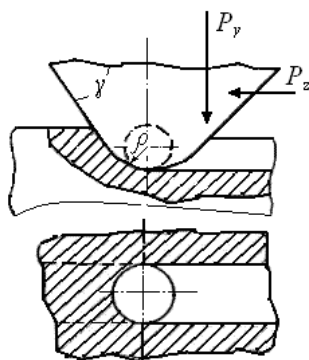


Рисунок 1 – Схема царапания единичным зерном

При выводе формулы для расчета сечений снимаемых стружек профессор Е.Н.Маслов [2] допускал, что режущие абразивные зерна следуют одно за другим, находясь на одинаковом расстоянии от оси вращения круга.

У всякого шлифующего зерна следует различать переднюю поверхность ECB , по которой сходит стружка при микрорезании, и заднюю поверхность BC_1E_1 , обращенную к обработанной поверхности (рис.2) [2]. Поверхность реального кристалла всегда имеет шероховатость, вызываемую его внутренним несовершенством или условиями его возникновения. В процессе микрорезания в связи с дислокационным механизмом указанные несовершенства возрастают. Микровыступы M и субмикровыступы N зерен имеют значение самостоятельных царапающих элементов, снимающих стружки, толщиной в 10 и 100 раз меньшие по сравнению с основным царапающим элементом. Из-за наличия скругленного режущего элемента в зоне тонких стружек создаются тем более тупые углы резания, чем меньше толщина снимаемого слоя, то есть чем ближе данный слой деформируемого материала расположен к режущему элементу инструмента (к линии среза KL).

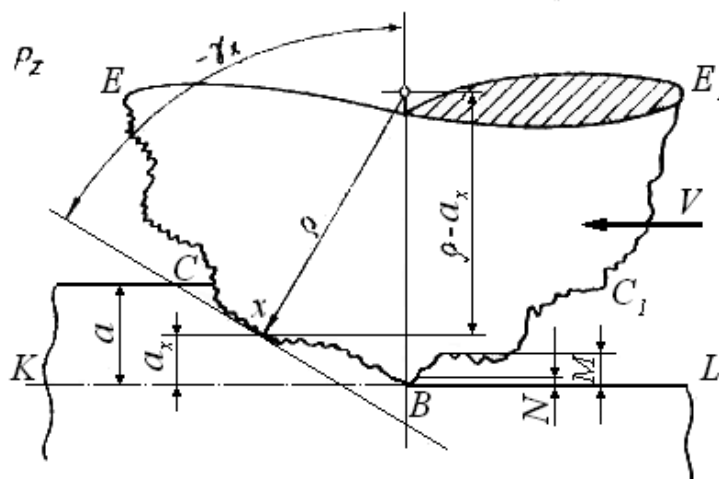


Рисунок 2 – Схема шлифующего зерна при микрорезании

В результате скругления режущего элемента фактический передний угол в некоторой точке x [2]:

$$x = \arcsin \frac{\rho - a_x}{\rho}, \quad (1)$$

где a_x – толщина снимаемого слоя в точке x ;

ρ – радиус скругления режущего элемента (зерна или режущей кромки инструмента).

Фактический угол резания в точке x :

$$\delta_x = \frac{\pi}{2} + \arcsin \frac{\rho - a_x}{\rho}, \text{ рад.} \quad (2)$$

При тупом угле резания в результате увеличения силы трения в плоскости скалывания в момент сдвига отделяемого элемента материала и увеличение силы внешнего трения между инструментом и обрабатываемым материалом необходимо приложить дополнительную силу, сжимающую деформируемый материал и вызывающую повышение сопротивления сдвигу деформируемого слоя.

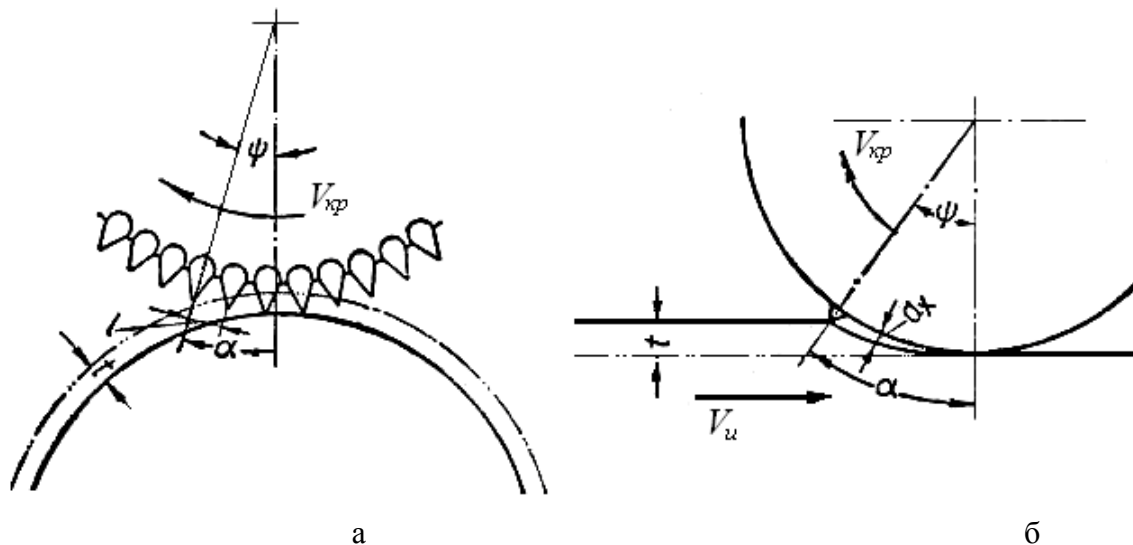
При резании слои материала, отстоящие от режущей кромки на разных расстояниях, деформируются при разных углах резания. Из формулы (2) следует, что при $a_x \rightarrow 0$, $\delta_x \rightarrow 180^\circ$. Таким образом, для слоев материала, лежащих непосредственно на линии среза, угол резания достигает такой величины, при которой резание является невозможным, и поэтому происходит смятие материала. Однако с увеличением толщины снимаемого слоя, то есть по мере удаления от линии среза, фактический угол резания уменьшается, причем при $a_x = \rho$ значение $\delta_x = 90^\circ$, а при $a_x > \rho$ значение $\delta_x < 90^\circ$.

Если толщина снимаемого слоя значительна и угол резания невелик, то в срезаемом слое развиваются значительные сжимающие напряжения, переходящие вблизи режущего элемента в растягивающие. Если радиус скругления режущего элемента больше толщины снимаемого слоя ($\rho > a_x$), то в этом случае началу отделения стружки предшествует значительное скольжение между режущим инструментом и материалом.

Увеличение толщины снимаемого слоя соответствует возрастанию общей работы деформирования, производимой при остром угле резания, однако работа деформирования, выполняемая при тупом угле резания, практически остается без изме-

нений. В связи с этим увеличению толщины снимаемого слоя соответствует снижение дополнительного деформирования материала вследствие тупого угла резания, вызываемого наличием у инструмента скругленного режущего элемента. Сказанным объясняется тот факт, что при значительных толщинах снимаемых слоев условное напряжение резания мало зависит от толщины снимаемого слоя [2]. Ширина снимаемого слоя не влияет на величину фактического угла резания и определяет собой длину слоя материала, подвергающегося деформированию. Поэтому условное напряжение резания практически не зависит от ширины снимаемого слоя.

По модели Г.И.Грановского [3] шлифовальный круг в плоскости, перпендикулярной к оси его вращения, можно сравнить с многозубой фрезой, у которой каждое абразивное зерно является зубом. Подобная схема представлена на рис.3.



а – при круглом шлифовании, б – при плоском шлифовании

Рисунок 3 – Схема контакта абразивных зерен с деталью

Такое сравнение условно, так как нельзя утверждать, что режущие вершины всех зерен в пределах длины дуги контакта L находятся на дуге одной окружности и что в работе одновременно будут участвовать $z = \frac{L}{l}$ зерен. Однако заранее известно, что количество фактически работающих зубьев z_f будет меньше z .

Расстояние между зернами l зависит в первую очередь от зернистости круга и в незначительной степени от номера структуры. Каждое зерно, проходя по дуге контакта с обрабатываемой поверхностью, будет снимать металл, расчетная толщина которого a_x будет изменяться от 0 до a_{max} и снова до 0 (рис.3, б). Зная глубину снимаемого за один проход слоя t , диаметр и характеристику круга, а также скорость перемещения обрабатываемой поверхности, можно расчетным порядком определить a_{max} или $a_{cp} = 0,5 a_{max}$, то есть максимальную или среднюю толщину металла, срезаемую одним зерном (зубом), а также длину дуги контакта зерна с обрабатываемым металлом. Однако, такая схема не всегда верна, так как режущие части соседних зерен не лежат в одной плоскости.

В условиях шлифования сплошным кругом процесс формирования шероховатости поверхности зависит от свойств материала обрабатываемой детали, остроты режущих зерен, химического состава трущихся пар, пластических деформаций, адгезии и вибрации.

Экспериментально доказано, что по убывающей степени влияния на уменьшение шероховатости шлифованной поверхности основные технологические факторы можно распределить в следующем порядке: выхаживание – алмазная правка круга – скоростное шлифование – уменьшение величины зерен круга – варьирование режимными факторами – влияние материала связки – влияние химического состава и чистоты СОЖ.

Изучая процесс резания в пространстве, П.И.Ящерицын [4] внес новое понятие в теорию образования шлифованной поверхности. По его мнению, если спроектировать все зерна на рабочем участке круга на одну плоскость, то с некоторым приближением можно считать, что образуется режущий контур, неровности которого полностью копируются в зоне контакта круга на обрабатываемой поверхности. Чем меньше неровность режущего контура, тем он ближе подходит к сплошному режущему лезвию, и шероховатость обработанной поверхности будет меньше. Отсюда следует, что шероховатость формируется режущим контуром, причем одинаковый режущий контур может быть создан различными способами.

Другим важным фактором образования шероховатостей шлифованной поверхности является продольная подача круга за один оборот изделия. Геометрическое влияние продольной подачи можно выяснить из следующих соображений. Шлифовальный круг 1 (рис.4) совершает вращательное движение.

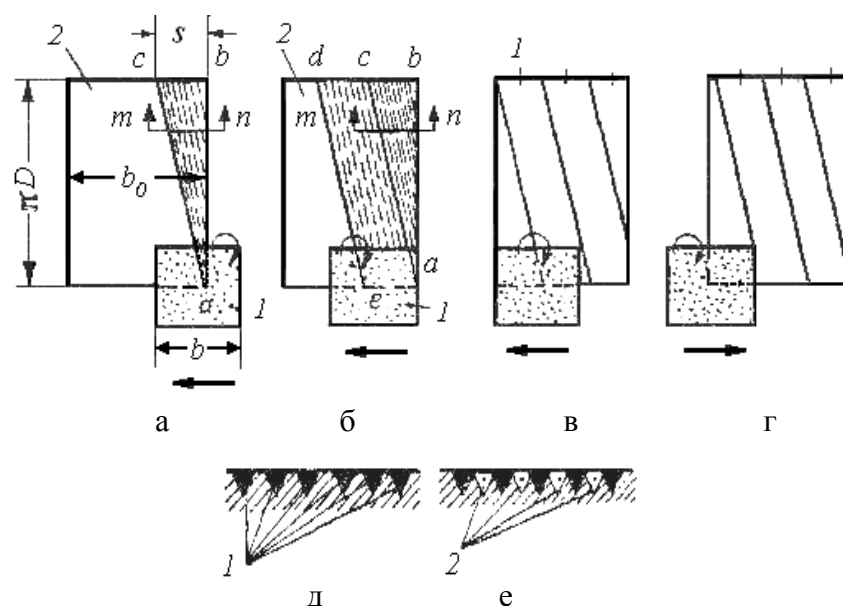


Рисунок 4 – Схема образования шлифованной поверхности (по П.И.Ящерицыну)

Обрабатываемая деталь 2 вращается и совершает возвратно-поступательные движения продольной подачи s . При движении детали слева направо с подачей, равной половине ширины шлифовального круга $s = \frac{B}{2}$, за один полный оборот детали на ее поверхности прошлифовывается участок в виде треугольника abc с основанием $ab = \pi D_{изд}$ и высотой $bc = s = \frac{B}{2}$ (рис.4, а). При этом в сечении данного участка поверхности по mn (рис.4, д) прорезаются канавки 1, соответствующие форме, размерам и расположению абразивных зерен круга, находящихся в контакте с данным участком поверхности.

Так как расположение абразивных зерен в связке круга беспорядочно, то нанесенные риски расположены неравномерно, и в сечении по mn остаются участки несре-

занного металла. При втором обороте детали (рис.4, б) шлифуется участок поверхности *abcde*. При этом на участке *acde* прорезаются первые канавки, аналогичные рассмотренным канавкам. На участке *abc*, частично прошлифованном за первый оборот детали, некоторые абразивные зерна круга попадают в уже прорезанные канавки и фактически не участвуют в процессе резания или участвуют частично.

Остальные зерна зоны контакта круга с изделием прорезают новые канавки 2 на участках несрезанного металла при первом обороте детали (рис.4, е), выравнивая и уменьшая высоту шероховатостей её поверхности. Аналогично шлифуются участки, показанные на рис.4, в, г, в которых цифрами показано количество соприкосновений круга с изделием. Очевидно, что при уменьшении продольной подачи до $s = \frac{B}{3}$ каждый участок шлифуемой поверхности подвергается воздействию шлифующих зерен три раза, а при $s = \frac{B}{4}$ – четыре раза. В результате этого соответственно увеличивается количество прорезаемых канавок, уменьшаются размеры участков несрезанного металла и размеры шероховатостей.

При шлифовании детали без поперечной подачи («выхаживание»), с геометрической точки зрения оказывает такое же влияние на шероховатость поверхности, как и уменьшение продольной подачи круга. При дополнительных соприкосновениях абразивных зерен круга с обрабатываемой поверхностью в случае шлифования без поперечной подачи зерна прорезают на ней дополнительные канавки. Очевидно, что чем больше дается дополнительных проходов круга без поперечной подачи, тем больше канавок прорезается в поверхности, тем меньше число и размеры участков несрезанного металла, тем равномернее и мельче (до определенного предела) шероховатость поверхности. Опыты показывают, что при увеличении числа проходов круга без поперечной подачи высота шероховатостей шлифованной поверхности значительно снижается. При этом увеличение продольной подачи и скорости вращения изделия увеличивает высоту шероховатостей так же, как и при обычном шлифовании с поперечной подачей.

Протекание процесса микрорезания зерном во многом зависит от его геометрии. При круглом шлифовании к геометрическим факторам, прежде всего, следует отнести степень зернистости круга. Зернистость круга характеризует не только размеры абразивных зерен, но и расстояние между ними.

На эффективность процесса механической обработки существенное влияние оказывает смазочно-охлаждающая жидкость. Рациональное использование СОЖ значительно уменьшает силы трения в паре «инструмент-деталь», снижает износ и затупление режущих кромок инструмента, уменьшает шероховатость и улучшает качество обработанного поверхностного слоя, улучшает охлаждение зоны обработки и обеспечивает лучшее удаление отходов из этой зоны. Однако, в процессе эксплуатации смазочно-охлаждающие жидкости непрерывно и интенсивно загрязняются твердыми частицами – отходами металлообработки. Исследования, проведенные Л.В.Худобиным в работе [5] показали, что твердые частицы загрязнений механического происхождения оказывают отрицательное влияние на качество обрабатываемых поверхностей, точность обработки, снижают стойкость инструмента и уменьшают срок эксплуатации смазочно-охлаждающей жидкости. Твердые частицы загрязнений, попадая в СОЖ в зоне обработки при шлифовании, вступают в силовой контакт с абразивным зерном или связкой круга и внедряются вместе с зернами в поверхность детали. В результате более мягкие частицы увеличивают площадь контакта круга с деталью и, вследствие повышения температуры, на поверхности детали возникают прижоги. С увеличением количества твердых частиц в смазочно-охлаждающей жидкости увеличивается число их

контактов с поверхностью круга, а следовательно и интенсивность разрушения круга и затупления абразивных зерен, что приводит к росту шероховатости, снижению точности обработки детали, к массовым прижогам.

Выводы. Исследование процессов, протекающих в зоне контакта зерен инструмента с обрабатываемым материалом, позволяет установить механизм образования микронеровностей шлифованной поверхности, а знание механизма образования обрабатываемой поверхности позволит прогнозировать качество поверхности детали.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маталин А.А. Качество поверхности и эксплуатационные свойства деталей машин. М.: Машгиз, 1956. – 252с.
2. Маслов Е.Н. Основы теории шлифования металлов. М.: Машгиз, 1950. – 375с.
3. Г.И.Грановский, П.П.Грудов и др. Резание металлов. М.: Машгиз, 1954. – 287с.
4. Ящерицин П.И. Повышение свойств шлифованных поверхностей. Минск: «Наука и техника», 1971. – 210с.
5. Худобин Л.В. Смазочно-охлаждающие средства, применяемые при шлифовании. М.: «Машиностроение», 1971. – 212с.

УДК 621.923

ЯЦЕНЮК Л.В., аспирантка
ЧУХНО С.И., к.т.н., доцент
ТКАЧЕНКО А.С., студент

Днепродзержинский государственный технический университет

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СОСТОЯНИЙ СМАЗАЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Введение. Смазочно-охлаждающие жидкости являются одним из основных факторов управления тепловыми процессами при шлифовании и в значительной мере воздействуют на производительность и качество обработки деталей. Существует ряд способов подачи этих жидкостей [1], повышающих степень их влияния на процесс шлифования. Однако до сих пор отсутствует единое мнение о проникновении смазочно-охлаждающих жидкостей непосредственно в зону резания.

Часть исследователей считает, что большая плотность контакта шлифовального круга с деталью и порождаемые высокими скоростями вращения шлифовальных кругов аэродинамические явления препятствуют попаданию смазочно-охлаждающих жидкостей в зону резания [2, 3]. При этом участие смазочно-охлаждающих жидкостей в тепловом балансе учитывается только за пределами зоны резания путем назначения для свободных участков обрабатываемой поверхности граничных условий третьего рода.

Другие, напротив, утверждают, что в результате гидродинамических явлений в зоне под шлифовальным кругом смазочно-охлаждающая жидкость должна проникать между шлифовальным кругом и деталью в процессе резания [4, 5]. Такое утверждение подтверждается и экспериментальными исследованиями [5, 6, 7], где в результате измерений давления смазочно-охлаждающей жидкости под шлифовальным кругом достаточно убедительно показана возможность ее затягивания в суживающуюся зону между шлифовальным кругом и деталью и далее в зону резания. Таким образом, под шлифовальным кругом возникает режим гидродинамической смазки. В этом случае влияние смазочно-охлаждающих жидкостей должно учитываться как за пределами зоны реза-

ния, так и непосредственно в ней. Однако, такое влияние пока не находит отражения при назначении граничных условий на поверхности детали в зоне шлифования.

Постановка задачи. Отсутствие единого мнения по указанному вопросу предопределяет неоднозначность мнений по поводу возможности изменения агрегатного состояния смазочно-охлаждающих жидкостей при шлифовании. Поэтому явление кипения не учитывается в постановке тепловых задач при шлифовании.

Если смазочно-охлаждающая жидкость попадает в зону резания, то в результате высоких температур шлифования и малых объемов жидкости вполне возможно ее вскипание. Однако это требует подтверждения, так как сам процесс кипения в таких условиях недостаточно изучен. За пределами зоны резания такое явление менее вероятно из-за высоких скоростей, больших объемов недогретой смазочно-охлаждающей жидкости и температур поверхности детали, более низких, чем в зоне резания.

Факт наличия парогазовых пузырьков в смазочно-охлаждающей жидкости за шлифовальным кругом экспериментально установлен в работе [8] путем фотографирования и скоростной киносъемки. Авторы интерпретируют это как результат кавитационных явлений в зоне резания. Однако зарегистрированные размеры пузырьков соответствуют начальной стадии развития паровых пузырьков, являющихся результатом процесса кипения. Таким образом, причиной их возникновения могла быть как кавитация, так и кипение, либо оба этих явления одновременно.

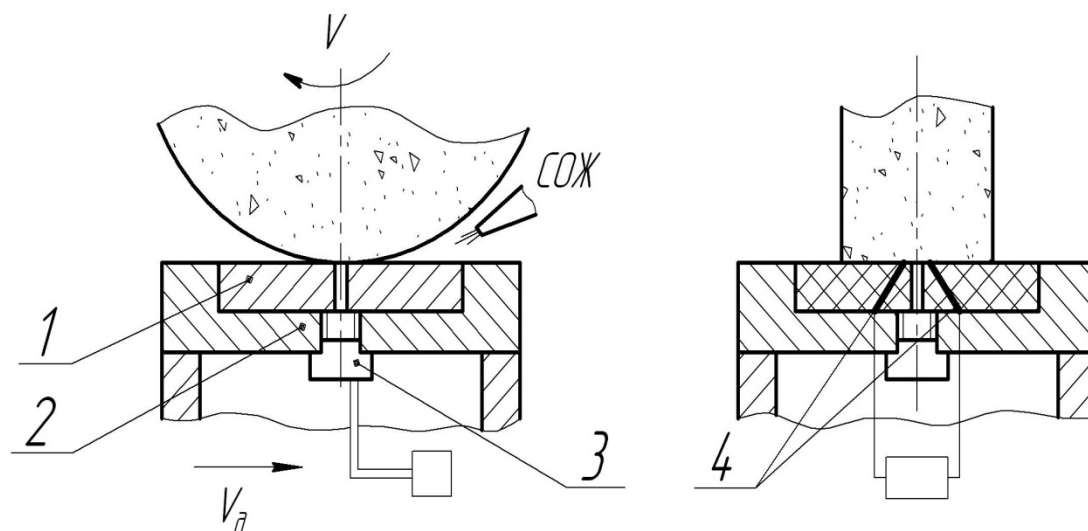
Наиболее убедительным разрешением этого противоречия могло бы стать экспериментальное подтверждение или опровержение факта кипения смазочно-охлаждающей жидкости в зоне резания. Подтверждение этого факта одновременно подтверждало бы выводы ранее выполненных исследований о присутствии смазочно-охлаждающей жидкости в зоне резания.

Признание присутствия смазочно-охлаждающей жидкости в зоне резания и явления ее кипения, очевидно, внесло бы изменения в существующие методики расчета температур шлифования в части граничных условий в зоне резания и величины тепловых потоков охлаждения. С другой стороны, определение условий реализации явления кипения смазочно-охлаждающей жидкости в зоне резания могло бы дать дополнительные возможности для управления процессом шлифования и его результатами.

Поэтому в данной статье ставится задача разработки методики эксперимента по установлению наличия явления кипения смазочно-охлаждающей жидкости в зоне резания при шлифовании и условий реализации такого явления при различных температурных и гидродинамических параметрах протекания процесса шлифования с применением смазочно-охлаждающих жидкостей.

Результаты работы. В качестве регистрируемого параметра предлагается принять давление среды в зоне резания, используя известный подход к исследованию течения смазочно-охлаждающей жидкости под шлифовальным кругом [5,6]. Схема экспериментальной установки приведена на рис.1.

В процессе эксперимента необходимо создать различные температурные условия в зоне резания, сохраняя при этом неизменными условия и характеристики течения смазочно-охлаждающей жидкости для обеспечения идентичности картины гидродинамического давления под шлифовальным кругом. Для этого измерение давления среды под шлифовальным кругом предлагается проводить при обработке с одинаковыми режимами резания сменных образцов 1 из различных материалов, устанавливаемых на столе 2 измерительного устройства, которое оснащено тензометрическим датчиком давления 3. Измерительное устройство закреплено на столе плоскошлифовального станка.



1 – образец; 2 – стол измерительного устройства;
3 – датчик давления; 4 – термоэлектроды

Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки

Для сообщения смазочно-охлаждающей жидкости из зоны резания с датчиком давления в каждом образце выполнено отверстие диаметром 1-1,5мм, заполняемое смазочно-охлаждающей жидкостью.

Для определения координаты положения датчиков используется конечный выключатель.

Режимы обработки каждого образца в каждой серии экспериментов остаются неизменными для обеспечения равенства условий гидродинамических явлений. Эти режимы назначаются таким образом, чтобы обеспечивать контактные температуры резания для одной группы материалов ниже температуры насыщения смазочно-охлаждающей жидкости, а для другой группы материалов – выше этой температуры, причем для части образцов – существенно выше.

Контактная температура в зоне резания контролируется термопарами 4, расположенными в обрабатываемых образцах. В плоскости разъема образцов, расположенной поперек движения подачи стола плоскошлифовального станка, помещены два искусственных термоэлектрода (хромель и алюмель), которые в процессе шлифования образуют две полуискусственные термопары с материалом образца. Так как условия резания, а значит и температуры шлифования, в точках образования полуискусственных термопар одинаковы, то можно считать, что при подключении регистрирующего прибора к указанным термоэлектродам будет регистрироваться термо-ЭДС, равная термо-ЭДС искусственной хромель-алюмелевой термопары при той же температуре.

Если давление среды в зоне резания при шлифовании второй группы образцов или отдельных образцов этой группы будет выше, чем при шлифовании образцов первой группы (то есть выше гидродинамического давления), то можно утверждать, что при регистрируемых условиях имеет место кипение смазочно-охлаждающей жидкости.

Для установления, при каких именно контактных температурах и условиях течения смазочно-охлаждающей жидкости возможна реализация данного явления, различные серии экспериментов проводятся при различных режимах резания и различных характеристиках шлифовальных кругов.

Выводы. В настоящее время отсутствуют достоверные данные по вопросу кипения смазочно-охлаждающих жидкостей в зоне резания при шлифовании. Это явление не учитывается при постановке тепловых задач шлифования. Определение условий

реалізації явлення кипіння смазочно-охлаждаючої рідини в зоні різання могло б дати додаткові можливості для управління процесом шліфування і його результатами.

Предложена методика позволяет путем измерения давления под шлифовальным кругом экспериментально установить факт кипения смазочно-охлаждающей жидкости, проникшей в зону резания при шлифовании, и определить условия реализации данного явления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: Справочник/ Под ред. С.Г.Энтелиса, Э.М.Берлинера. – М.: Машиностроение, 1986. – 352с.
2. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1981. – 279с.
3. Сипайлов В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности. – М.: Машиностроение, 1978. – 167с.
4. Степанов М.С. Определение влияния гидравлических параметров подачи СОЖ на коэффициент теплоотдачи в зоне резания при шлифовании // Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков: НТУ «ХПИ», 2001. Вып.10. – С.199-203.
5. Ящерицын П.И., Бранкевич Э.С., Туромша В.И. Взаимодействие абразивного круга с потоком смазочно-охлаждающей жидкости при шлифовании // Изв. АН БССР. Сер. физико-техн. наук. – 1981. – №3. – С.38-45.
6. Бараник Ю.П. Исследование гидродинамического давления СОЖ в рабочей зоне при шлифовании. – В сб.: Алмазы и сверхтвердые материалы. Вып.11, 1978, С.7-8.
7. Ефимов В.В., Буранов Н.С., Демидов В.В. Течение СОЖ в зоне контакта шлифовальный круг – деталь. Вестник машиностроения. – 1980. – №11. – С.52-53.
8. Ящерицын П.И., Бранкевич Э.С., Туромша В.И. Кавитационные явления при шлифовании// Изв. АН БССР. Сер. физико-техн. наук. – 1981. – №4. – С.67-72.

УДК 621.784:629.4.027.11

ШУЛЬГА А.С., к.т.н., доцент
ШУЛЬГА Н.С., магiстр

Дніпродзержинський державний технічний університет

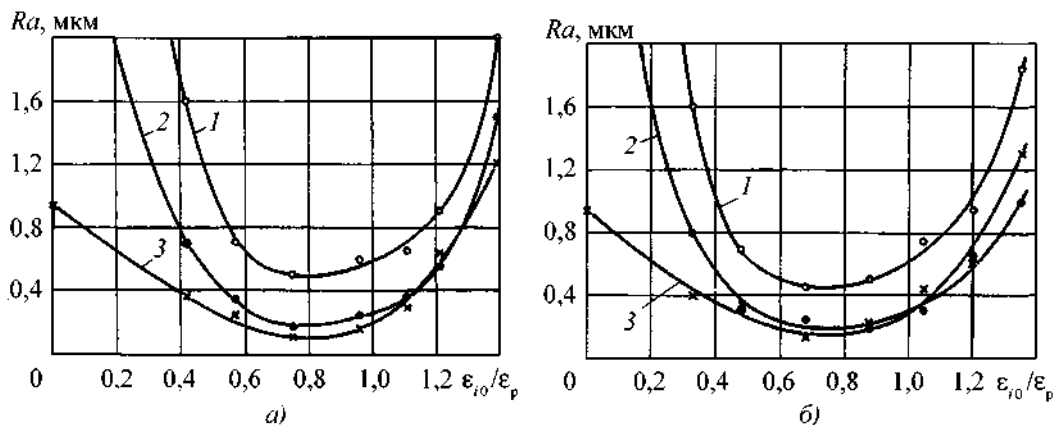
ДОСЛІДЖЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ РЕЖИМІВ ОБРОБКИ ОСІ ВАГОНІВ ПРОМИСЛОВОГО ТРАНСПОРТУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІНІМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ШОРСТКОСТІ

Вступ. Осі вагонів промислового транспорту працюють у важких умовах динамічних навантажень. Для покращення їх утомлювальної міцності після механічної обробки поверхні осі піддаються поверхневому пластичному деформуванню (обкатуванню роликami).

Дослідження показали, що осі доцільно обкатувати по всій їх довжині, включаючи шийки, підматочинні й середні частини. Це дає великий техніко-економічний ефект за рахунок подовження служби осей і зменшення обсягу ремонтних робіт. Цей метод дозволяє також заощаджувати велику кількість металу, необхідного для заміни осей, що вийшли з ладу, і, що досить важливо, він підвищує безпеку руху поїздів.

Постановка задачі. При обкатуванні роликками передпідматочинної частини, шийки й галтелей осі важливо забезпечити не тільки зміцнення, але й необхідну шорсткість поверхні. Параметри шорсткості поверхні повинні забезпечити надійну установку підшипників кочення й захисних ущільнень. Відповідно до існуючої технології ці поверхні після обробки роликками піддаються шліфуванню. Така технологія не досить раціональна, тому що вводиться додаткова технологічна операція – шліфування. Крім того, при шліфуванні знімається певний зміцнений шар, що негативно позначається на міцності осі. Тому важливо розробити такі режими обробки, які забезпечували б не тільки необхідну утомлювальну міцність осі, але й задану шорсткість обкатуваних поверхонь.

Результати роботи. Останнім часом були проведені дослідження [1] режимів обкатування, які забезпечують одночасне зміцнення деталі й одержання необхідної шорсткості, – оздоблювально-зміцнювальна обробка. Дослідження проводили на валиках Ø30мм, виготовлених з нормалізованих сталей 35 і 40Х, близьких за механічними властивостями до сталі Ос ГОСТ 4728-96, з якої виготовляється вісь вагона. Поверхні валиків, що досліджувались, після механічної обробки чорновим і чистовим точінням і шліфуванням обкатувалися кульками. Режими обкатування, до яких відносяться робоче зусилля P , діаметр кульки $D_{ш}$ і подача S , розраховували за запропонованою у роботі [2] методикою. При розрахунках був використаний узагальнений деформаційний критерій, у якості якого була прийнята інтенсивність деформації ϵ_{j_0} і компонентами якого є не тільки відносні лінійні, але й зсувні деформації. Відповідно до рекомендацій [1] для одержання оптимального зміцнювального ефекту ϵ_{j_0} повинен бути близьким за значенням до граничної деформації ϵ_p матеріалу оброблюваної деталі. При дотриманні цієї умови у сполученні з вибором раціональної товщини зміцненого шару h_s [3] досягається значне підвищення межі витривалості деталі за рахунок максимального використання ступеня фізичного зміцнення матеріалу (наклепу). Результати дослідження представлені на рис. 1.



1, 2, 3 – чорнове точіння, чистове точіння й шліфування відповідно

Рисунок 1 – Вплив інтенсивності пластичної деформації ϵ_{j_0} поверхневого шару валиків діаметром $D_B = 30$ мм із нормалізованих сталей 35 і 40Х і попередньої механічної обробки на шорсткість поверхні Ra після обкатування

Отримані дані дають наочну уяву про ступінь впливу на якісні показники обробки не тільки інтенсивності пластичної деформації ϵ_{j_0} поверхневого шару, але й вихідного стану поверхні деталі перед ППД. Так, обкатування кульками більш "грубої" поверхні (чорнове точіння) не забезпечує за інших рівних умов того рівня шорсткості, що

досягається після чистового обточування або шліфування. При цьому відзначимо, що із двох останніх підготовчих операцій, які практично не впливають на одержувані після ППД геометричні параметри мікрорельєфу, перевагу варто віддавати чистовому точінню, як більш економічному.

Що стосується впливу ε_{j0} на геометрію мікрорельєфу, то режими обкатування осей з нормалізованих сталей, що є відповідно до положень, висунутих й обґрунтованих в роботах [2, 3], оптимальними за ефективністю зміцнення, не є такими за якістю обробки поверхонь. Найкращі результати в цьому випадку (незалежно від виду технологічних операцій обробки, що передують обкатуванню вихідної поверхні осей) приходяться на область значень $\varepsilon_{j0} \approx (0,7...0,9)\varepsilon_p$, незважаючи на те, що середній тиск у контакті інструмента з деталлю й товщина зміцненого шару залишаються практично незмінними. При відхиленні реалізованих при ППД значень від цих границь в обидва боки якість обробки помітно погіршується. Так, при обкатуванні шліфованих осей, коли $\varepsilon_{j0} > 1,3 \varepsilon_p$, шорсткість внаслідок прогресуючого шелушіння поверхні зростає настільки, що перевищує навіть вихідну.

Результати досліджень підтверджують, що інтенсивність пластичної деформації ε_{i0} поверхневого шару є досить важливим критерієм для оцінки не тільки ступеня фізичного зміцнення матеріалу, але й якості обробленої поверхні. Вирішальна роль ε_{i0} в оцінці якості обробки підтверджується й результатами інших дослідників. До аналогічного висновку можна прийти після аналізу експериментів, описаних Д.Д.Папшевим [4] і стосовних до дослідження залежності параметрів шорсткості від зусилля Р.

Дані, отримані при дослідженнях, дозволяють використати для практичної реалізації методичку розрахункового визначення раціональних параметрів режимів обкатування осей. Як було показано, найбільшій ефективності процесу ОЗО можна домогтися, якщо забезпечити на поверхні осі після обкатування інтенсивність пластичної деформації ε_{i0} , близьку за значеннями до $(0,7...0,9) \varepsilon_p$. Оскільки при $\varepsilon_{j0} \approx (0,8...1,0) \varepsilon_p$ зберігається на досить високому рівні й ефективність зміцнювальної обробки [1, 2], можна прийняти, що при реалізації деякого проміжного значення ε_{i0} (наприклад, $\varepsilon_{j0} \approx 0,8 \varepsilon_p$) досить легко з'єднати ці два процеси в один, тобто одержати близьке до максимального збільшення межі витривалості матеріалу при мінімальних параметрах шорсткості обробленої поверхні.

Наведені вище закономірності для розрахунку параметрів обкатки передпідматочинної частини і галтелі дають можливість скористатися залежностями, які наведені в роботі [2], прийнявши $\varepsilon_{j0} \approx 0,8 \varepsilon_p$. Наприклад, для обкатування передпідматочинної частини роликками можна рекомендувати для розрахунку геометричних параметрів – профільного радіуса „r” ролика і робочого навантаження Р – наступні залежності:

$$r = \frac{D_p + D_o}{5D_p \cdot D_o} \left(\frac{h_s \ln 400\varepsilon_p}{0,8k\varepsilon_p} \cdot \frac{\sigma_T}{HД - \sigma_T} \right)^2 \left[\frac{D_p \cdot D_o}{2r(D_p + D_o)} \right]^{0,05}, \text{ мм}, \quad (1)$$

$$P = \frac{2h_s^2}{k^2 \left(\frac{1}{\sigma_T} - \frac{1}{HД} \right)}, \text{ Н}, \quad (2)$$

де $k = 1 - \frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{2r}{D_p - D_o}} (D_p + D_o) \right)^4$

D_p – діаметр ролика;

D_0 – діаметр осі;

НД – пластична твердість по ГОСТ 18835-73.

Знаходження R і r вирішуються методом послідовного наближення. Оптимальну величину товщини зміцнювального шару h_s можна розрахувати за методикою, викладеною в роботі [3]. Величину інших параметрів режимів можна приймати як при звичайній обробці, згідно якої обкатку доцільно виконувати за один прохід при швидкості $V \leq 100 \text{ м/хв}$ і подачі $S \leq (0,2 - 0,24) \text{ В мм/об}$, де B – половина ширини сліду ролика на оброблювальній поверхні. Діаметр ролика D_p не має істотного значення і може прийматися $D_p \leq D_0$.

Таким чином, для отримання якісного по міцності і шорсткості поверхневого шару передпідматочинної частини і галтелі осі вагона необхідно після чистового точіння їх обкатати роликами з режимами обробки, наведеними вище. Це дозволить з'єднати дві технологічні операції в одну і ліквідувати операцію шліфування.

Висновки. Розглянуті вище закономірності дозволяють рекомендувати замість кінцевої оздоблювальної операції обкатування роликами з наступним шліфуванням абразивними кругами проводити тільки обкатку роликами з режимами оздоблювально-зміцнювальної обробки. Це дозволить, не знижуючи міцності осі, отримати необхідну шорсткість поверхні без виконання шліфувальної операції і відповідний економічний ефект.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сидякин Ю.И., Осипенко А.П., Бочаров Д.А. Совершенствование технологии отделочно-упрочняющей обработки валов поверхностным пластическим деформированием. „Упрочняющие технологии и покрытия”. – 2007. – № 8. – С.23-26.
2. Дрозд М.С., Маталин М.М., Сидякин Ю.И. Инженерные расчеты упругопластической контактной деформации. – М.: „Машиностроение”, 1986. – 224с.
3. Сидякин Ю.И. Повышение эффективности упрочняющей механической обработки валов обкаткой их роликами или шариками. „Вестник машиностроения”. – 2001. – № 2. – С.43-49.
4. Папшев Д.Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием. М.: „Машиностроение”, 1978. – 152с.