

Министерство высшего и среднего специального образования БССР

Белорусский ордена Трудового Красного Знамени
политехнический институт

МАШИНОСТРОЕНИЕ

РЕСПУБЛИКАНСКИЙ МЕЖВЕДОМСТВЕННЫЙ СБОРНИК

В ы п у с к 9

Минск „Вышэйшая школа“ 1984

6.21.75
МЗХ УДК 621.002

Главный редактор
П. И. Ящерицын, академик АН БССР, доктор технических
наук, профессор

Редакционная коллегия:

Г.М.Яковлев, Н.И.Жигалко, В.В.Бабук, Э.М.Дечко, А.И.Кочергин,
Е.И.Махаринский, Ю.А.Новоселов, И.П.Филонов, П.С.Чисто-
сердов, А.И.Шевцов, Р.В.Широкий

Освещаются вопросы проектирования технологических способов механической и упрочняющей обработки. Исследуется возможность применения ЭВМ для разработки технологических процессов, конструирования агрегатов станков и сложнорежущих инструментов. Приводятся рекомендации по применению математических методов планирования и анализа экспериментов. Изучаются результаты исследований при обработке труднообрабатываемых сталей и сплавов, а также неметаллических материалов лезвийными и абразивными инструментами.

Предназначен для инженерно-технических работников заводов, НИИ, для преподавателей, аспирантов, студентов вузов машиностроительного профиля.

М 2702000000—072 144—84
304 (05) —84

© Издательство "Вышэйшая школа", 1984

Глава I. ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ МАТЕРИАЛОВ РЕЗАНИЕМ

УДК 621.919

В.И.ХОДЫРЕВ, канд. техн. наук,
Н.Д.ДОБРОВОЛЬСКИЙ (ММИ)

ОСОБЕННОСТИ СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ ПРИ РОТАЦИОННОМ ПРОТЯГИВАНИИ (СТРОГАНИИ) СО СВОБОДНЫМ ВЫХОДОМ СТРУЖКИ

Разнообразные способы однолезвийной ротационной обработки имеют свои особенности стружкообразования [1]. Связаны они с дополнительным перемещением режущего лезвия вдоль самого себя и заключаются в резком снижении скорости относительного скольжения стружки по передней поверхности инструмента в период их контакта, а также в уменьшении силовой и тепловой напряженностей в зоне резания. Основным техническим ограничением на оптимальное стружкообразование при однолезвийной обработке является максимально допустимая глубина резания (до 2 мм).

Отметим, что прерывистость резания при обработке винтовым вращающимся резцом определяет периодические изменения кинематических углов рабочего витка и всех параметров стружкообразования [1]. Закономерности этих изменений создают более благоприятные условия резания по сравнению с резанием чашечными резцами (особенно при обработке с большими припусками).

Эксперименты по установлению зависимостей и особенностей стружкообразования при ротационном протягивании (строгании) со свободным выходом стружки проводились на станках продольно-строгальном мод. 7243 (в производственных условиях) и поперечно-строгальном мод. 7Б35 короткими протяжками и головками с отдельными многолезвийными элементами протяжек.

Режущие части с винтовыми лезвиями были изготовлены из углеродистой стали У8А ГОСТ 1435–74 (HRC₃ 62...64) и быстрорежущей стали Р6М5 ГОСТ 19265–73 (HRC₃ 64...66), инструменты с кольцевыми элементами оснащались твердосплавными кольцами (ВК8, Т15К6).

В качестве образцов использованы заготовки для подштамповых плит с габаритами L×B×H = 820×720×130 мм из стали 40Х ГОСТ 4543–71 и чугуна СЧ24–44 ГОСТ 1412–70, а также бруски L×B×H = 300×60×60 мм из стали 45 ГОСТ 1050–74.

Результаты экспериментов показали стабильность и надежность работы инструментов при выполнении требований к качеству обработанной поверхности. Были выявлены дополнительные особенности стружкообразования при протягивании (строгании) со свободным выходом стружки из зоны резания. Из-за циклической прерывистости процесса обработки протяжками с

винтовыми лезвиями стружка получалась дробленой, удобной для брикетирования и переработки. Ее заостренные и наиболее деформированные концы обрабатывались при входе в зону обработки и на выходе из нее активных участков винтового режущего лезвия. Различная толщина и ширина стружки по ее длине не позволили определить коэффициент усадки известными способами, поэтому его средняя величина в направлении схода стружки находилась как отношение длины пути активного участка режущего лезвия в металле к длине образовавшейся при этом стружки.

Как стальная, так и чугунная стружки формируются вращающимися лезвиями в пространственную спираль и свободно выводятся ими из зоны резания и канавок (рис. 1, а, б).

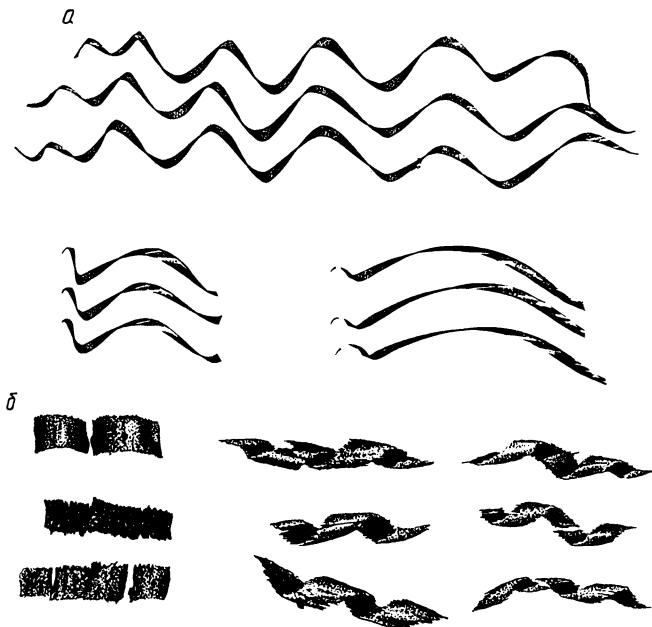


Рис. 1. Фотографии стальной (а) и чугунной (б) стружек

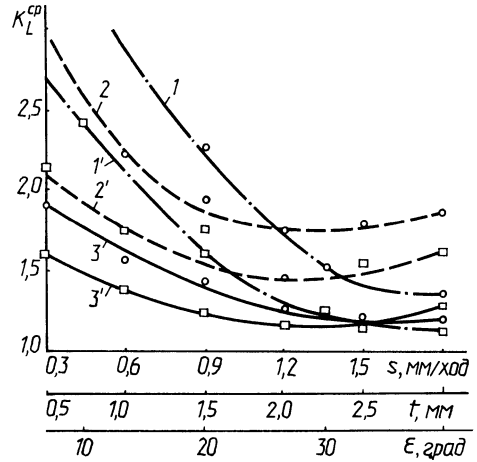
На рис. 1, а показана сливная стружка, полученная винтовыми ротационными протяжками при обработке плоскостей с одно-, двух-, трех- и четырехзаходными винтовыми лезвиями, соответственно уменьшающаяся по длине. Поперечные сечения стружки представляют собой деформированные запятые или криволинейные трапеции.

В целом большинство зависимостей коэффициента усадки стружки от геометрических параметров инструмента и режимов резания при ротационном протягивании (строгании) плоскостей отличаются от таковых при обычном протягивании только в количественном отношении. Некоторый интерес представляет зависимость средней величины коэффициента усадки стружки от изменения подачи, припуска или угла установки оси протяжки относительно главного движения резания (рис. 2).

Из рис. 2 видно, что стружка с большими ($a = 1,5$ мм) параметрами поперечного сечения среза (3 и 3') меньше подвергается деформации, однако при увеличении подачи до значений 1,2...1,4 мм/дв.ход средний коэффициент усадки начинает возрастать из-за ухудшения условий разделения стружки и ее дополнительной деформации во впадине между зубьями.

Большое влияние на коэффициент усадки при ротационном протягивании оказывает угол наклона оси протяжки к вектору скорости главного движения ϵ . С его уменьшением средний коэффициент усадки увеличивается и достигает максимального значения 4,3 при $\epsilon = 10^\circ$. При дальнейшем уменьшении ϵ самовращение режущей части инструмента становится нестабильным, процесс резания сопровождается вибрацией, повышенным выделением

Рис. 2. Зависимость средней величины коэффициента усадки стружки от подачи, припуска и угла наклона оси протяжки к вектору главного движения: 1, 1' — генераторная схема резания, $K_{\frac{cp}{L}} = f(t)$; 2, 2' — генераторная схема резания, $K_{\frac{cp}{L}} = f(\epsilon)$; 3, 3' — профильная схема резания, $K_{\frac{cp}{L}} = f(s)$ (1, 2, 3 — $a = 0,5$ мм; 1', 2', 3' — $a = 1,5$ мм)



тепла и износом лезвий инструмента по задней поверхности. Стружка в этом случае представляет собой множество иглообразных элементов, спекшихся в одно целое. Когда ϵ превышает 30° , резко увеличивается шероховатость обработанной поверхности.

В ы в о д ы. 1. Более благоприятные условия образования и свободного выхода стружки при ротационном протягивании (строгании) плоскостей положительно влияют на повышение производительности процесса обработки, стойкости инструмента и качества обработанной поверхности.

2. Протягивание со свободным выходом стружки наиболее целесообразно при обработке длинных открытых плоскостей. При этом протяжки очищаются от стружки. Дробление стружки проходит за счет кинематики процесса (в случае винтовых лезвий) без применения дополнительных устройств.

3. Стойкость ротационных протяжек в 3...6 раз превышает стойкость обычных (с одновременным увеличением скорости протягивания).

ЛИТЕРАТУРА

1. Особенности стружкообразования и теплофизики резания винтовым вращающимся резцом / В.С.Камалов, В.И.Ходырев, А.А.Шмыгин, Н.В.Джима. — Вестник машиностроения, 1979, № 3, с. 49—53.

О ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ ИЗМЕНЕНИЯ ПОДАЧИ, КОТОРЫЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНО РЕАЛИЗОВАТЬ НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

По данным ЭНИМС, доля станков токарной группы в общем выпуске станков с ЧПУ составляет около 40%. Причем 48% фонда времени работы этих станков уходит на обработку деталей, закрепляемых в патроне. Поэтому разработка методов повышения производительности и точности обработки деталей в патроне на токарных станках с ЧПУ является важной народнохозяйственной задачей.

Существующие системы адаптивного управления, предназначенные для решения этой задачи, пока еще сложны и дорогостоящи. Поэтому повышение производительности и точности обработки на станках, управляемых разомкнутыми системами ЧПУ, достигается либо методом коррекции управляющих программ по результатам измерения обработанных деталей, либо методом предсказания управляющих программ на этапе их разработки. Однако использование этих методов сдерживается значительными простоями станков при измерении деталей и коррекции программ, а также большим объемом программ. Новые пути повышения производительности и точности обработки основаны на использовании переменной подачи.

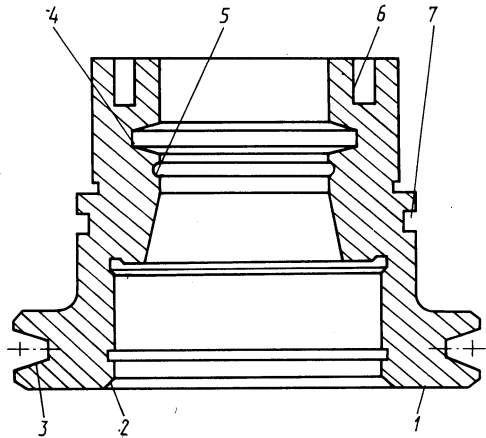
Анализ опубликованных результатов исследований показал, что соответствующие методы обработки с переменной подачей реализованы на станках с помощью различных дополнительных кулачковых или гидравлических устройств. Для станков с ЧПУ это неприемлемо, так как привело бы к снижению жесткости и увеличению затрат времени на переналадку станка. Поэтому функцию изменения подачи целесообразно передать устройству ЧПУ, особенно в тех случаях, когда оно построено на базе микроЭВМ. В таких устройствах алгоритмы управления реализованы программным путем, т. е. вводятся в память на языке микроЭВМ. Введением в память микроЭВМ алгоритмов регулирования подачи можно получить практически любую закономерность поступления импульсов на привод подач.

Для выявления закономерностей изменения подачи, которые целесообразно реализовать на токарных станках с разомкнутыми системами ЧПУ, был проведен анализ поверхностей широкой номенклатуры деталей класса дисков (более 500 наименований). Рассматривались детали, обработка которых ведется на токарных станках моделей 1734Ф3, 16К20Ф3, 16К30Ф3, 1П732Ф3. Далее при использовании метода групповой технологии [1] была сформирована группа деталей, характеризующаяся наличием элементарных поверхностей, при формообразовании которых целесообразно осуществлять регулирование подачи. Характерная (комплексная) деталь данной группы изображена на рис. 1. Здесь же указаны элементарные поверхности, при обработке которых регулированием подачи можно добиться повышения производительности и точности. Это канавки фасонного профиля, торцевые поверхности, канавки лабиринтного уплотнения, фаски и др.

При точении канавок фасонного профиля с постоянной подачей ее значение ограничивается площадью сечения среза в конце врезания резца в заготовку (в конце формообразования канавки по глубине). Вследствие этого на всем пути врезания возможности станка и инструмента используются не полностью (площадь сечения среза, а следовательно, сила и мощность резания возрастают по мере врезания резца в заготовку). Этот недостаток может быть устранен регулированием подачи в зависимости от пути по закономерностям, обеспечивающим стабилизацию площади сечения среза (или силы и мощности резания).

Рис. 1. Поверхности комплексной детали, производительность обработки которых может быть повышена регулированием подачи:

- 1 — торцевая поверхность; 2 — фаска;
- 3 — канавка под клиновой ремень;
- 4 — канавка под сальниковое войлочное кольцо;
- 5 — канавка канавочного уплотнения;
- 6 — канавка лабиринтного уплотнения;
- 7 — канавка под круглое резиновое кольцо



При обработке различного рода фасок по мере врезания резца в заготовку ширина среза изменяется. Если обработка осуществляется с постоянной подачей, то площадь сечения среза, а с ней сила и мощность резания увеличиваются. Поэтому для стабилизации силы и мощности резания на уровнях, близких к предельно допустимым значениям, скорость подачи следует изменять так, чтобы обеспечить постоянство площади сечения среза.

Оптимальная по себестоимости обработка требует точного соблюдения скорости резания. Поэтому при обработке торцов деталей, особенно тех, которые относятся к классу дисков, целесообразно осуществлять регулирование частоты вращения шпинделя в соответствии с изменением диаметра обработки. Так как подача на оборот при этом должна оставаться постоянной, необходимо обеспечить плавное увеличение (уменьшение) минутной подачи в соответствии с изменением частоты вращения шпинделя. На станке с устройством ЧПУ на базе микроЭВМ, оснащенный бесступенчато регулируемым приводом главного движения, эта задача может быть решена также путем изменения минутной подачи в функции пути по закономерности, обеспечивающей постоянство площади сечения среза.

Изменение подачи в функции пути по закономерностям, обеспечивающим стабилизацию площади сечения среза, целесообразно осуществлять также при черновой обработке отливок и поковок (снятие литейных и штамповочных уклонов на цилиндрических и торцевых поверхностях).

Любую из указанных закономерностей изменения подачи удобно представить в виде зависимости между коэффициентом K_S изменения подачи по

длине рабочего хода L и значением перемещения L_T в направлении подачи. Текущее значение K_S равно отношению значения подачи s_K в конце рабочего хода к текущему значению подачи s_T (s_T выражается при этом в процентах от общей длины рабочего хода L). Некоторые закономерности изменения подачи, выраженные через коэффициент K_S , приведены на рис. 2. Эти закономерности получены расчетным путем и вытекают из условия поддержания постоянства площади сечения среза при обработке элементарных поверхностей, указанных на рис. 1. На рис. 2 приведена также закономерность изменения

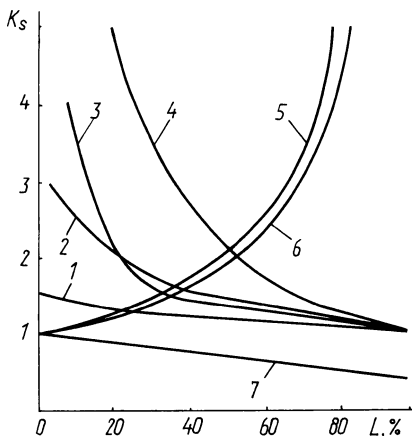


Рис. 2. Рекомендуемые закономерности изменения подачи при обработке:

1 — канавки под сальниковое войлочное кольцо; 2 — канавки под клиновой ремень; 3 — канавки канавочного уплотнения; 4 — со снятием литейных или штамповых уклонов; 5 — фаски; 6 — торцевой поверхности; 7 — хрупких материалов со снижением подачи при выходе резца из обрабатываемого материала

подачи, которая может быть использована при обработке деталей из чугуна и других хрупких материалов (уменьшение подачи по мере перемещения резца к выходу из зоны резания позволяет предотвратить явление выкрашивания кромок деталей, которым сопровождается обработка хрупких материалов с постоянной подачей). Ряд расчетных закономерностей изменения подачи на этом рисунке не показан. Это прежде всего закономерности изменения подачи, которые вытекают из условия компенсации систематической составляющей погрешности формы деталей, вызываемой геометрическими погрешностями станка.

Реализовать на станке с ЧПУ многообразие существующих закономерностей сложно. Однако этот вопрос в какой-то мере можно решить, если управляющее устройство обеспечит увеличение (уменьшение) минутной подачи по линейному закону в координатах „подача — длина обработки“. Тогда любая кривая в этих координатах может быть аппроксимирована отрезками прямых, задаваемых в программе отдельными кадрами. Это дает возможность с достаточной степенью точности приблизиться к необходимой закономерности изменения подачи.

При обработке канавок лабиринтного уплотнения и других глубоких канавок прорезными резцами на токарных универсальных станках для предотвращения защемления и поломки резца токарь периодически сообщает ему знакопеременное перемещение в основной плоскости перпендикулярно вектору поперечной подачи (обработка канавок „в развод“). Благодаря увеличению ширины канавки на величину дополнительного перемещения улучшается отвод стружки и как следствие этого предотвращается поломка резцов.

На практике метод обработки канавок „в развод“ нашел применение только при обработке на токарных станках с ручным управлением. На токарных станках с ЧПУ этот метод может быть легко автоматизирован.

Сбегающая сливная стружка при токарной обработке склонна к наматыванию на обрабатываемую деталь, что является серьезным препятствием для полной автоматизации формообразующих движений. Это лишает станки с ЧПУ их основного преимущества — возможности многостаночного обслуживания. Поэтому надежное стружколомение регулированием подачи является необходимым условием рационального использования станков с ЧПУ. В результате анализа существующих методов кинематического стружколопания установлено, что устройством ЧПУ могут быть реализованы лишь те методы, которые не связаны с периодическим изменением направления перемещения суппорта, т. е. метод дискретного точения и метод модулированного изменения подачи. Последний может быть использован также для повышения виброустойчивости системы СПИД при точении деталей малой жесткости.

ЛИТЕРАТУРА

1. М и т р о ф а н о в С.П. Прогрессивные методы технологической подготовки серийного производства. — Л., 1971. — 120 с.

УДК 681.7.05; 658.527

А.Д.МАЛЯРЕНКО (БПИ)

ПУТИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ОПТИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Анализ существующего технологического процесса изготовления оптических деталей показывает, что основная часть рабочего времени, затрачиваемого на изготовление детали, приходится на тонкое шлифование (7,5%), полирование (44,5%), вспомогательные операции (блокировка, защитное покрытие лаком обработанных поверхностей, разблокировка, перебазировка деталей и т. п.; сопутствующие блочной обработке по одной поверхности (44,5%); на кругление, фасетирование, черновое шлифование, центрировку уходит в основном 3,7% времени. Отметим, что на механическую обработку двух сферических поверхностей оптических деталей приходится примерно 55% от общего времени на изготовление.

Время изготовления детали можно значительно уменьшить, если обрабатывать одновременно обе ее сферические поверхности. Это позволяет добиться значительного повышения производительности за счет совмещения во времени операций и устранения вспомогательных операций, сопутствующих блочной обработке по одной поверхности. Применение подобных методов позволяет стабилизировать процесс обработки за счет равномерного перераспределения давлений в зоне обработки, нахождения деталей в одинаковых, наперед заданных оптимальных условиях, устранения неравномерности силовых и кинематических характеристик процесса.

Мероприятия по применению методов двустороннего формообразования сферических поверхностей оптических деталей следует сочетать с организационной групповой обработкой, что также способствует повышению производительности обработки.

Для нахождения областей наиболее выгодного применения методов одновременной групповой обработки двух сферических поверхностей оптических деталей необходимо проанализировать существующие методы обработки.

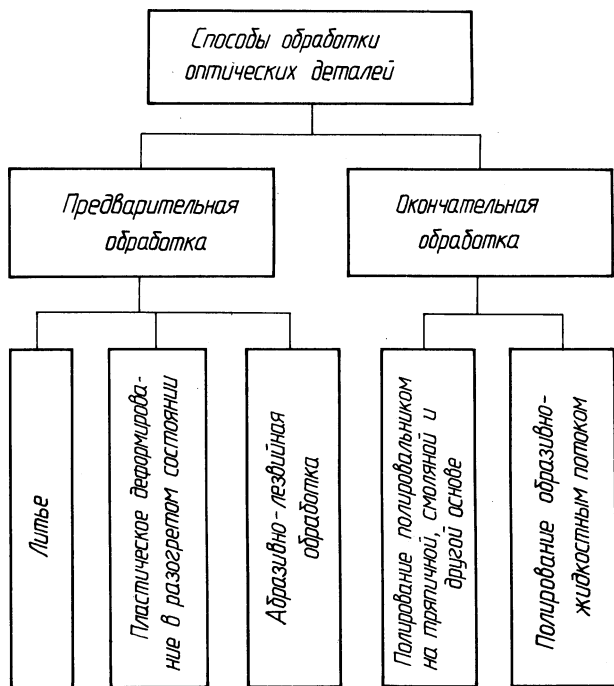


Рис. 1. Классификация способов обработки сферических поверхностей оптических деталей

Все многообразие способов обработки оптических деталей можно разделить по степени достигаемой точности на способы предварительной и окончательной обработки. Приемы обработки, оборудование, инструментальный материал и режимы на разных стадиях формирования поверхности коренным образом отличаются друг от друга. По характеру операций способы предварительной и окончательной обработки можно классифицировать (рис. 1).

К способам предварительной обработки относятся литье (центробежное, в кокиль, под давлением и др.), пластическое деформирование стекла в разогретом состоянии и абразивно-лезвийная обработка. На этих операциях удаляется основная часть припуска и формируется (в основном) сферическая поверхность.

На стадии окончательного формирования сферических поверхностей достигаются заданные точностные параметры и качество поверхности. Поэтому

здесь, в отличие от способов предварительной обработки, инструмент должен изнашиваться значительно интенсивнее, чем деталь.

Способы окончательной обработки включают полирование полировальником на тканевой, смоляной и других основах, которые широко применяются в промышленности, и полирование абразивно-жидкостной струей.

Хотя основные точностные и эксплуатационные параметры достигаются на окончательной стадии технологического процесса, устранение погрешно-

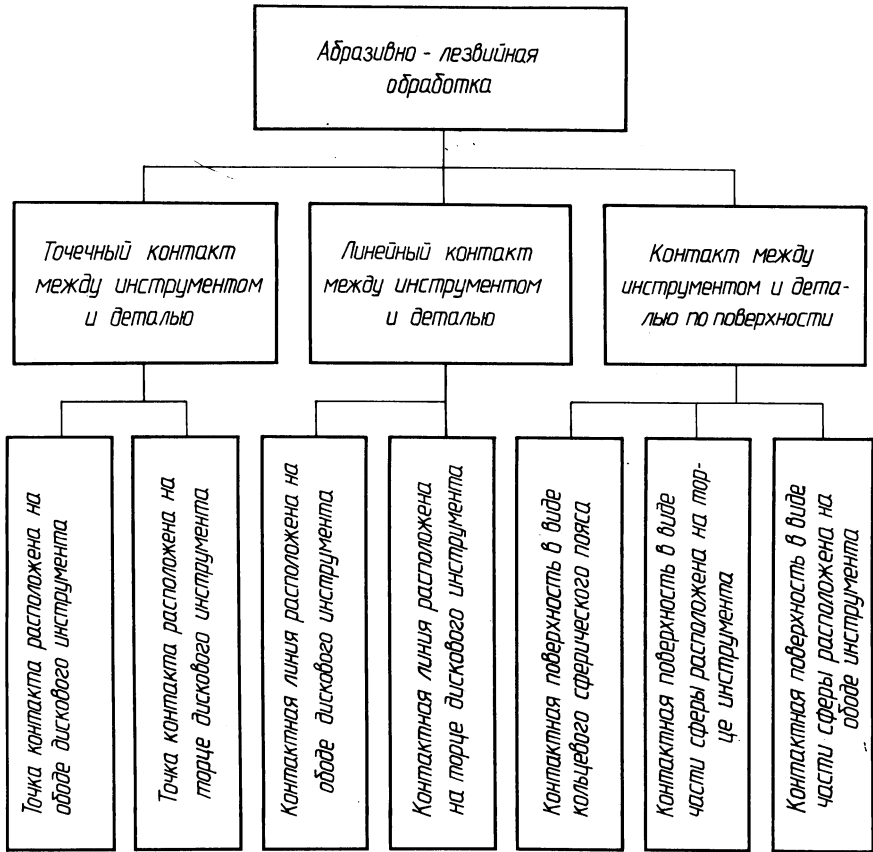


Рис. 2. Классификация методов абразивно-лезвийной обработки сферических поверхностей оптических деталей

тей, возникающих во время предварительной обработки, оказывает существенное влияние на продолжительность операции окончательного формирования. Поэтому, намечая пути интенсификации этого процесса, необходимо рассматривать весь технологический процесс изготовления оптических деталей.

Среди способов предварительной обработки наибольшее распространение в производстве получила абразивно-лезвийная. По геометрическим параметрам зоны контакта обрабатываемой детали и инструмента она делится на обработку точкой, линией и поверхностью (рис. 2).

В свою очередь, рабочие зоны могут быть расположены как на торце, так и на ободе абразивного инструмента. Обработка может происходить как при полном, так и при частичном охвате инструментом профиля детали.

Каждый из приведенных на рис. 2 способов абразивно-лезвийной обработки имеет свои специфические кинематические и динамические характеристики. Поэтому рассмотрение каждого из них позволит наметить пути стабилизации распределения скоростей и сил резания по обрабатываемой поверхности детали.

Обработка при наличии контакта между инструментом и деталью в точке позволяет применить методы автоматического управления для регулирования параметров процесса обработки, при этом можно создать автоматическую линию по обработке сферических поверхностей оптических деталей.

Способы обработки, при которых контакт между обрабатываемой деталью и инструментом осуществляется по линии и поверхности, получили наиболее широкое применение в оптико-механической промышленности. На реализацию этих способов направлено большое количество технических решений по разработке специального инструмента и оборудования.

Рассмотрение предложенной классификации позволяет оптимизировать процесс формообразования и наметить пути поиска методов стабилизации кинематических и силовых характеристик процесса обработки. Одним из таких путей является разработка технологии, конструкций станочного оборудования и инструмента для осуществления одновременной групповой обработки двух сферических поверхностей линз.

Осуществление процесса одновременной групповой обработки зачастую возможно только при наличии дополнительных инструментов. Использование в качестве таковых тел качения (шариков, роликов) позволяет повысить точность обработанных поверхностей за счет повышения размерной стойкости дополнительных инструментов. Путем подбора соответствующей степени точности тел качения и своевременной их замены можно сохранить высокую точность размеров обработанных поверхностей всех деталей.

Обработка оптических деталей станками, в которых используется в основном вращательное приводное движение вместо возвратно-вращательного и возвратно-поступательного, позволяет добиться большей равномерности распределения силового воздействия за счет отсутствия реверсирования в крайних положениях.

Изучение кинематики и динамики формообразования сферических поверхностей оптических деталей, поиск наилучших условий его протекания и путей автоматического поддержания параметров обработки в оптимальных режимах во время всего рабочего цикла позволят значительно интенсифицировать процесс изготовления линз со сферическими преломляющими поверхностями в условиях массового и серийного производства.

К ВОПРОСУ ОБ УСТАНОВКЕ РОТАЦИОННЫХ РАСТОЧНЫХ РЕЗЦОВ

Основная установка ротационного резца относительно обрабатываемой поверхности характеризуется двумя углами β_y и φ_y . В этом случае положение оси резца рассматривается относительно определяющей плоскости. При расположении вершины резца на уровне оси центров станка определяющая плоскость совпадает с основной.

Одним из главных преимуществ основной установки является неизменность величины установочных углов β_y и φ_y при различных радиусах обрабатываемой поверхности. Известно, что величина установочных углов оказывает существенное влияние на все без исключения параметры процесса резания (кинематические, силовые, температурные и т. д.). Поэтому применение резца с углами β_y и φ_y рекомендуется в первую очередь для обработки отверстий различного диаметра одним и тем же резцом, устанавливаемым в резцедержателе токарного станка.

Вместе с тем основная установка неудобна при использовании расточных резцов, закрепляемых в расточной оправке, борштанге. Особенно большие технологические трудности возникают при расположении в расточной оправке нескольких резцов. Нетрудно заметить, что при повороте определяющей плоскости вместе с резцом вокруг оси обрабатываемой поверхности на некоторый угол β_0 ось резца занимает положение, при котором она находится в плоскости, параллельной основной (рис. 1). В этом случае установка оси резца относительно обрабатываемой поверхности определяется одним углом φ_0 (между осью резца и горизонталью) и линейным размером H (расстоянием от оси резца до основной плоскости). Таким образом, при растачивании гнезда под резцовый угол в расточной оправке ось гнезда смещают на величину H и разворачивают под углом φ_0 .

Установочные углы β_y и φ_y выбирают, исходя из условий обработки (материал обрабатываемой детали, минимальность угла контакта при заданной глубине реза-

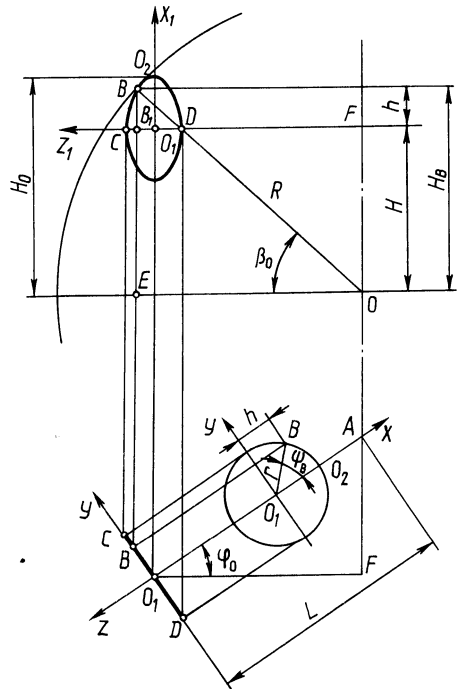


Рис. 1. К определению установочных параметров резца

ния, обеспечению требуемой шероховатости и скорости самовращения реза и т. д.). Для определения углов β_0 и φ_0 воспользуемся геометрической схемой, показанной на рис. 2. Из треугольников ВЕО, АВС, АВF определяем:

$$\sin \beta_0 = \frac{\sin \beta_y}{\cos \varphi_y}; \quad \sin \varphi_0 = \frac{\sin \varphi_y}{\cos \beta_y}.$$

Аналогично проводится обратный переход от углов β_0 и φ_0 к углам β_y и φ_y по следующим формулам:

$$\operatorname{tg} \varphi_y = \operatorname{tg} \varphi_0 \cos \beta_0; \quad \operatorname{tg} \beta_y = \operatorname{tg} \beta_0 \cos \varphi_0.$$

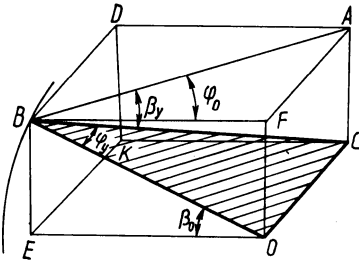


Рис. 2. К определению углов β_0 и φ_0

Величина подъема вершины реза H_B для создания необходимого значения угла β_y оси реза относительно определяющей плоскости (см. рис. 1):

$$H_B = R \sin \beta_0 = R \frac{\sin \beta_y}{\cos \varphi_y}.$$

Измерение высоты H_B в производственных условиях представляет определенные практические трудности, потому что положение вершины В изменяется в зависимости от технологических условий. Более удобно устанавливать резец, измеряя высоту H центра режущего лезвия или высоту H_0 наивысшей точки O_2 режущего лезвия.

Расстояние h от оси реза до его вершины В равно абсциссе вершины В:

$$h = X_B = r \cos \psi_B,$$

где ψ_B — параметр вершины В реза

$$\psi_B = \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg} \varphi_y}{\cos \beta_y}.$$

Тогда

$$\begin{aligned} H &= H_B - h = R \sin \beta_0 - r \cos \psi_B; \\ H_0 &= R \sin \beta_0 + r (1 - \cos \psi_B). \end{aligned} \quad (1)$$

Важное значение при проектировании расточных головок, в которых применяется одноповоротная схема установки резцовых узлов, имеет размер L от торца режущего лезвия до оси расточной головки, определяющий глубину расточки гнезда в корпусе инструмента под резцовые узлы. Из рис. 1:

$$\begin{aligned} L &= O_1 F / \cos \varphi_0; \\ O_1 F &= EO - B_1 O_1; \\ EO &= R \cos \varphi_0. \end{aligned} \quad (2)$$

Для определения величины $B_1 O_1$ повернем систему координат вокруг оси $O_1 X$ на угол φ_0 .

В новой системе координат $X_1 Y_1 Z_1$:

$$B_1 O_1 = Z_1^B;$$

$$B_1 O_1 = Y \sin \varphi_0 + Z \cos \varphi_0 = r \sin \psi_B \cos \varphi_0; \quad (3)$$

$$\sin \psi_B = \sqrt{\frac{\cos^2 \beta_0}{\cos^2 \varphi_0} + \frac{\sin^2 \beta_0}{\cos^2 \varphi_0}} = \sqrt{\frac{\cos^2 \beta_0}{\cos^2 \varphi_0} + \frac{\sin^2 \beta_0}{\cos^2 \varphi_0}} = \sqrt{\frac{\cos^2 \beta_0 + \sin^2 \beta_0}{\cos^2 \varphi_0}} = \frac{1}{\cos \varphi_0} \quad (4)$$

Используя формулы (1-4), получим окончательно:

$$L = R \frac{\cos \beta_0}{\cos \varphi_0} - r \sqrt{\frac{\cos^2 \beta_0}{\sin^2 \beta_0 + \cos^2 \varphi_0}}. \quad (5)$$

При двухповоротной системе установки реза относительно обрабатываемой поверхности (углы установки β_Y и φ_Y) вершину реза (точку В) располагают на уровне центров станка. Только в этом случае реальные углы установки будут соответствовать углам наклона резцедержателя и его поворота в плоскости подачи. Однако в практических условиях неизбежны отклонения от точной установки реза. В связи с этим представляет интерес, каково влияние этих отклонений на реальную величину углов β_Y и φ_Y . При этом возможны два случая установки:

- 1) вершина реза установлена выше оси центров станка на величину h (рис. 3, а);
- 2) вершина реза установлена ниже оси центров станка на величину h (рис. 3, б).

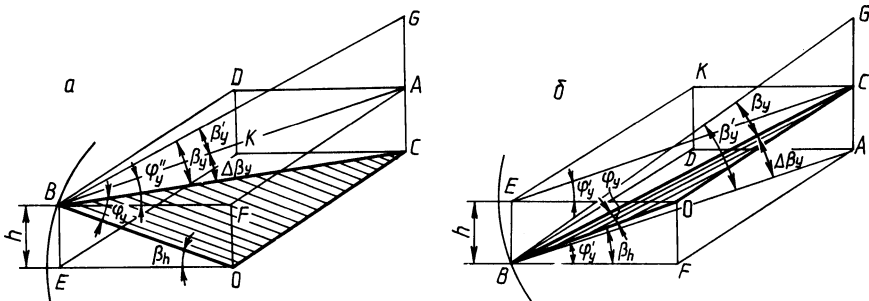


Рис. 3. К определению углов β_Y и φ_Y

Как в первом, так и во втором случаях измерение действительных углов β_Y и φ_Y следует производить относительно определяющей плоскости ВСО, проходящей через вершину В реза и ось ОС обрабатываемого отверстия. Первоначально устанавливаемые углы β_Y' и φ_Y' , которые в большинстве случаев определяются конструкцией державки и инструмента, измеряются относительно плоскости подачи АDBF.

Из геометрических построений для случая, когда вершина реза установлена выше оси центров станка, получаем:

$$\beta_Y = \beta_Y' + \Delta \beta_Y, \quad (6)$$

а для случая, когда вершина реза установлена ниже оси центров станка:

$$\beta_Y = \beta_Y' - \Delta \beta_Y. \quad (7)$$

Для обоих случаев:

$$\operatorname{tg} \Delta\beta_{\gamma} = \cos \varphi'_{\gamma} \operatorname{tg} \beta_h, \quad (8)$$

где

$$\beta_h = \arcsin \frac{h}{R}.$$

Для обоих случаев:

$$\operatorname{tg} \varphi_{\gamma} = \operatorname{tg} \varphi'_{\gamma} \cos \beta_h. \quad (9)$$

Анализ формул (5) – (9) показывает, что с увеличением h для случая, когда вершина резца установлена выше оси центров станка, угол β_{γ} возрастает, а для случая, когда вершина резца установлена ниже оси центров, угол β_{γ} уменьшается. Что касается угла φ_{γ} , то в обоих случаях он при увеличении h уменьшается.

Таким образом, при разработке техпроцесса ротационного растачивания, задаваясь максимально допустимыми отклонениями углов β_{γ} и φ_{γ} , с помощью формул (6) – (9) можно определить при конкретных значениях R , β'_{γ} , φ'_{γ} допустимые отклонения величины h установки вершины резца относительно оси центров станка.

УДК 621.923.4

А.Г. ФЕДОТОВ (Тадж. политехнический ин-т)

ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ АБРАЗИВНЫХ ЛЕНТ ПРИ ЛЕНТОЧНОМ ШЛИФОВАНИИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

При обработке алюминиевых сплавов потеря работоспособности происходит в первую очередь за счет налипания стружки на абразивное зерно и забивания ею межзернового пространства, а не за счет разрушения и истирания абразивных зерен. Для полного вымывания стружки, забившейся в поры абразивной ленты, необходимо подавать СОЖ при давлении $(2...5) \cdot 10^5$ Па, что не всегда возможно при обработке инструментом на эластичной основе (лентой). Эффективное повышение стойкости ленты достигается при ее вибрации в режиме автоколебаний под действием струи сжатого воздуха с одновременной капельной подачей СОЖ. Предлагаемый метод поясняется схемой, представленной на рис. 1.

Сжатый воздух под давлением $(3...5) \cdot 10^5$ Па подается из сопла 3 на опору 2 и, отражаясь от нее, попадает под абразивную ленту 1, вызывая колебания последней в режиме автоколебаний. СОЖ капельным методом подается из сопла 4 непосредственно перед зоной обработки детали. Изменяя угол наклона 3, усилие поджима опоры 2 и натяжение ленты 1, можно обеспечить вибрацию абразивной ленты в диапазоне частот 10...1000 Гц и амплитуд 0,1...4,0 мм.

Исследования показывают, что наибольшую стойкость и производительность обеспечивает вибрация с частотой 250...300 Гц, амплитудой 2–3 мм при капельной подаче керосина или индустриального масла (рис. 2).

Как видно из графика (рис. 2), при обработке алюминиевого сплава абразивные ленты с электрокорундовым абразивным зерном имеют более вы-

сокие стойкость и производительность, чем с зерном из карбида кремния. Это связано с тем, что карбид кремния работает в режиме самозатачивания, что не целесообразно для абразивной ленты, имеющей малый слой абразивных зерен.

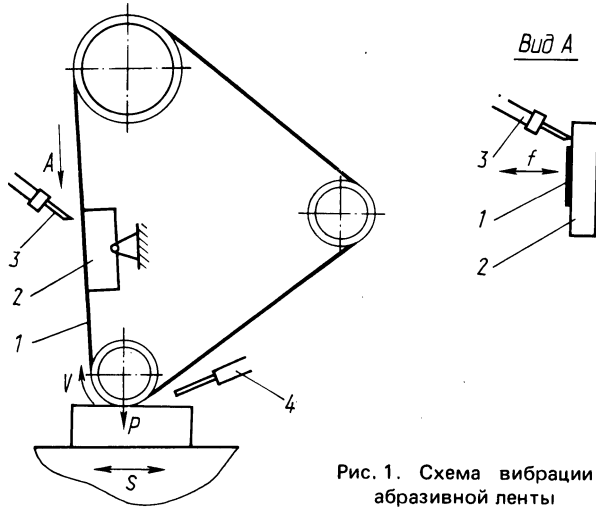
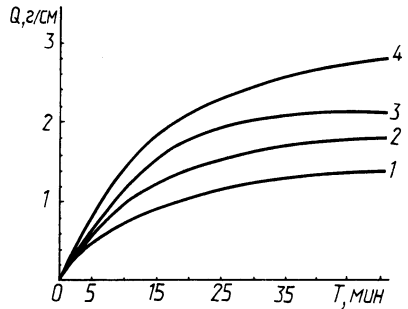


Рис. 1. Схема вибрации абразивной ленты

Рис. 2. Зависимость производительности шлифования от времени работы абразивной ленты при обработке сплава Ал-4 ГОСТ 2685-63 ($v = 10 \text{ м/с}$, $p = 0,15 \cdot 10^5 \text{ Па}$, зернистость абразивного зерна 100 мкм):
 1 – абразив электрокорунд 15А, без СОЖ и без вибрации;
 2 – абразив электрокорунд 15А, СОЖ керосин ГОСТ 4753-68, без вибрации;
 4 – абразив электрокорунд 15А, СОЖ керосин ГОСТ 4753-68, вибрация частотой 250 Гц, амплитуда 2,5 мм;
 3 – абразив карбид кремния зеленый 62 С, СОЖ керосин ГОСТ 4753-68, вибрация частотой 250 Гц, амплитудой 2,5 мм



Вибрация абразивных лент в диапазоне частот звукового спектра при шлифовании алюминиевых сплавов повышает производительность и стойкость лент в 1,3...2 раза.

Г.В.ТИЛИГУЗОВ, канд. техн. наук
(ИНДМАШ АН БССР),
Е.С.ЯЦУРА, канд. техн. наук (БПИ),
В.В.КУЛЕШОВ (ИНДМАШ АН БССР)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА БЕСЦЕНТРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ С ОСЦИЛЛИРУЮЩИМ ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ ИЗДЕЛИЯ

Для повышения качества шлифованных деталей шлифовальному кругу сообщают осциллирующие перемещения. Однако наличие жесткой кинематической связи шпинделя с устройством, задающим осциллирующие перемещения, вызывает вынужденные колебания системы СПИД, а дополнительная степень свободы шпиндельного узла обуславливает снижение его геометрической точности и динамической жесткости. В результате в отдельных случаях точность обработки ухудшается.

Для устранения указанных недостатков предложен способ бесцентрового врезного шлифования, в соответствии с которым осциллирующие перемещения сообщаются обрабатываемому изделию (рис. 1). Осциллирующие перемещения обеспечиваются за счет: а) возвратно-поступательного движения, нежестко связанного с деталью штока гидроцилиндра; б) воздействия осевой составляющей силы резания F_x .

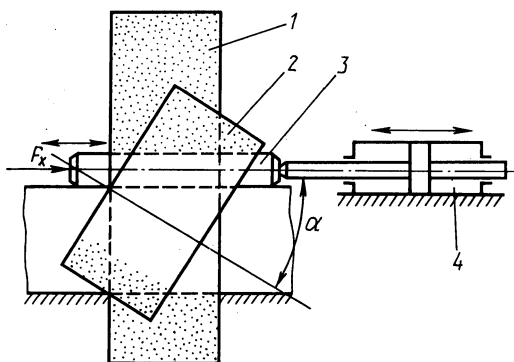


Рис. 1. Схема бесцентрового врезного шлифования с осциллирующим перемещением изделия: 1 — шлифовальный круг; 2 — ведущий круг; 3 — обрабатываемая деталь; 4 — гидроцилиндр выталкивателя

Исследования проводились на серийном круглошлифовальном бесцентровом станке мод. 3М182, оснащенном аппаратурой для регистрации параметров процесса шлифования. Использовались образцы диаметром 10 мм (сталь 45, HRC₃ 51,5...53), имеющие исходную некруглость 15...20 мкм и шероховатость Ra = 2,5 мкм. Обработка велась кругами 24A25CT16K (шлифовальный) и 24A16CT16B (ведущий) при оптимальных значениях наладочных параметров для станков данной модели (припуск 0,05 мм).

Шлифование отдельных партий заготовок производилось в соответствии с матрицей планирования полного четырехфакторного эксперимента. Рассматривались: показатели качества деталей — величина некруглости, мкм; шероховатость обработанной поверхности Ra, мкм (зависимые параметры);

Условия эксперимента

Режимный фактор	Интервал варьирования	Уровень фактора		
		нижний (-1)	основной (0)	верхний (+1)
s , мм/мин	1	0,5	1,5	2,5
T_B , с	3	4	7	10
$A_{осц}$, м	0,02	0,005	0,025	0,045
$f_{осц}$, Гц	0,9	0,2	1,1	2

а также режимные факторы — поперечная подача s , мм/мин; продолжительность выхаживания T_B , с; частота $f_{осц}$, Гц; амплитуда осцилляции $A_{осц}$, м (независимые параметры). Область изменения режимных факторов и интервалы их варьирования приведены в табл. 1. Для выявления допустимых значений частоты осциллирующего перемещения, а также изучения ее влияния

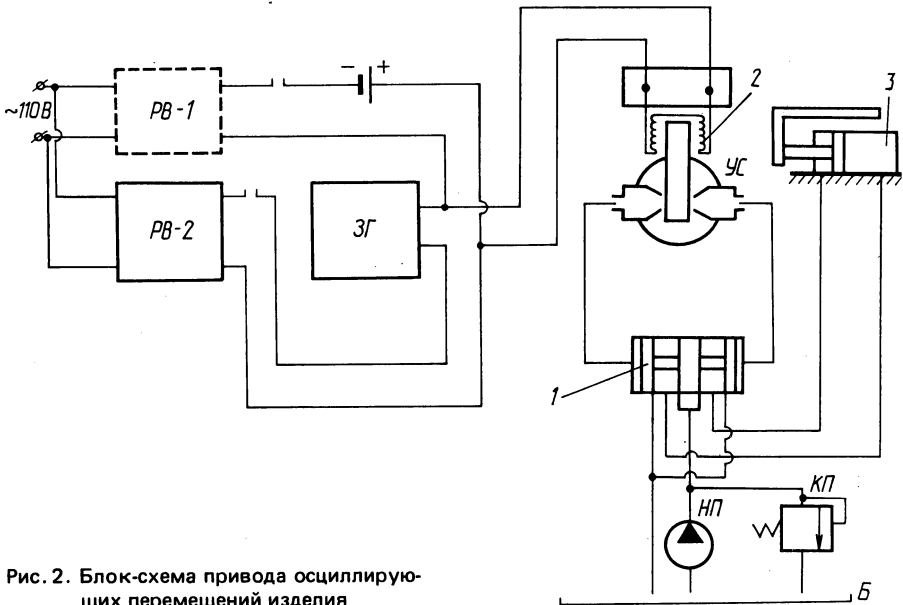


Рис. 2. Блок-схема привода осциллирующих перемещений изделия

на качество поверхностей деталей были проведены дополнительные исследования в диапазоне изменения данного фактора 0,5...50 Гц. Обработка отдельных партий деталей при этом проводилась на режимах, соответствующих центру эксперимента ($s = 1,5$ мм/мин; $T_B = 7$ с, $A_{осц} = 0,025$ м), с интервалом варьирования $\Delta f_{осц} = 5$ Гц.

Для осуществления осциллирующих перемещений изделия используется экспериментальный привод (рис. 2), который работает следующим образом. При включении цикла обработки детали на станке подключаются реле времени PB-1 и PB-2 (ВЛ17-2). В момент срабатывания PB-2, настроенного на начальный момент этапа выхаживания, от задающего генератора ЗГ (Г6-26) поступает сигнал на катушку 2 блока управления электрогидравлического уси-

лителя УС (УЭГ.Г–32). При этом в зависимости от полярности сигнала следящий золотник 1 поочередно подает масло в полости гидроцилиндра выталкивателя 3. Выталкиватель в этом случае совершает возвратно-поступательные перемещения с амплитудой, зависящей от величины поданного сигнала. Такое конструктивное исполнение привода обеспечивает диапазон регулирования частоты 0,01...100 Гц. После срабатывания РВ-1, с помощью которого осуществляется временное управление циклом обработки, шлифовальная бабка с кругом отводится от изделия. При этом сигнал от источника постоянного тока подается на катушку блока управления электрогидравлического усилителя. Золотник смещается, масло от гидростанции подается в штоковую полость гидроцилиндра выталкивателя. Деталь выталкивается, и цикл обработки завершается.

Реализация плана эксперимента позволила установить достоверные зависимости параметров качества шлифованных деталей от режимных факторов при схеме шлифования с осциллирующим перемещением изделия. Значения некруглости H_K определялись на круглографе „Талиронд“, значения шероховатости поверхностей – на профилографе мод. 201. Расчет коэффициентов по методу наименьших квадратов, оценка их значимости по St (критерию Стьюдента) и проверка адекватности искомым зависимостям по F (критерию Фишера при 5%-ном уровне значимости) осуществлялись на ЭВМ ЕС 1020 по программе обработки данных многофакторных экспериментов.

На основании полученных данных установлено, что наибольшее влияние на некруглость и шероховатость оказывает частота осцилляции. При шлифовании с частотой $f_{осц}$ в диапазоне 0,5...10 Гц выявлено снижение некруглости формы деталей до 2,5 раз по сравнению с обычной схемой обработки без осциллирующего перемещения. Это вызвано двумя причинами: более благоприятными условиями стружкообразования, свойственными процессу разнонаправленного резания, и изменением частотного спектра колебаний системы СПИД.

Как показали результаты проведенного спектрального анализа, с увеличением частоты $f_{осц}$ в станочной системе возрастает удельный вес колебаний в диапазоне 55...70 Гц, а амплитуда низкочастотной составляющей (32 Гц), соответствующей погрешностям формы типа огранки, снижается. В результате на деталях наблюдается некруглость сложного спектра с пониженной амплитудой, в которой проявляются гармоники 12...14 порядка.

На шлифованной поверхности при исследуемой схеме обработки образуется сетка, представляющая собой следы перекрещивающихся траекторий движения абразивных зерен.

С увеличением частоты осцилляции плотность ячеек возрастает. На боковых кромках царапин отчетливо наблюдаются наплывы пластически деформированного металла поверхностных слоев. При этом возникает наиболее благоприятный микрорельеф рабочих поверхностей деталей. Отдельные выступы на обработанной поверхности окружены канавками, удерживающими смазку. В результате существенно увеличивается ее насыщенность маслом, а следовательно, и износостойкость. Одновременно происходит уменьшение количества трещин и ожогов на обработанных поверхностях.

Установлено, что при шлифовании в диапазоне частот $f_{осц} = 0,5...1,5$ Гц наблюдается уменьшение шероховатости поверхностей деталей до 1,7 раза

(по сравнению со схемой обработки без осцилляции). Увеличение значений $f_{\text{осц}}$ в диапазоне 1,5...25 Гц приводит к увеличению значений Ra от 0,12 до 0,22 мкм. В диапазоне частоты 25...50 Гц шероховатость поверхностей деталей практически не изменяется.

Увеличение Ra в диапазоне значений $f_{\text{осц}} = 1,5...25$ Гц вызвано значительным ростом толщины снимаемой стружки при относительно малой степени пластической деформации поверхностных слоев металла.

Для исследуемой схемы обработки выявлено также существенное (на 20...30%) повышение стойкости шлифовального круга, вызванное как улучшением процесса самозаточивания при разнонаправленном резании, так и полным использованием и равномерным износом его периферии.

УДК 621.941.23

И.А.КАШТАЛЬЯН, канд. техн. наук (БПИ)

ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТЕЙ, ОБРАБОТАННЫХ С МОДУЛИРОВАННОЙ ПОДАЧЕЙ

Метод токарной обработки, который заключается в замене постоянной подачи переменной (модулированной), нашел применение при обработке деталей на токарных станках с числовым программным управлением.

На токарных станках с устройствами ЧПУ, построенными на базе микроЭВМ, модулирование подачи осуществляется по треугольному закону в координатах „подача — длина обработки“. Для этого управляющее устройство ступенчато увеличивает подачу от s_{min} до s_{max} , а затем также ступенчато снижает ее:

$$s_{\text{max}} = s_{\text{min}} + n\Delta s,$$

где s_{max} , s_{min} — наибольшая и наименьшая скорости подачи, мм/мин; n — количество набросов скорости подачи при ее изменении от s_{min} до s_{max} .

Длина обработки, соответствующая изменению подачи между ее предельными значениями, равна

$$L = n\Delta L,$$

где ΔL — длина обработки между набросами скорости подачи.

Процесс резания с модулированной подачей сопровождается рядом физических явлений, существенно отличающих его от обычного резания, что, естественно, ведет к изменению механизма действия практически всех факторов, оказывающих влияние на шероховатость поверхности. Поэтому задача оценки шероховатости поверхности, обработанной с модулированной подачей, весьма актуальна.

Влияние модулированной подачи на шероховатость поверхности исследовали при точении в патроне заготовок из стали 40ХН диаметром 70 мм и длиной 50 мм при частоте вращения шпинделя 500 об/мин, глубине резания 2 мм. Обработка велась подрезно-проходным резцом, оснащенным пластиной твердого сплава Т15К6. Для предотвращения влияния вылета консоли на шероховатость свободный конец заготовки поджимался вращающимся центром.

Факторы, уровни и интервалы варьирования

Уровень	Кодированные значения	Факторы		
		x_1 (s, мм/об)	x_2 (h)	x_3 (L, мм)
Основной	0	0,4	0,65	0,825
Интервалы варьирования		0,2	0,15	0,425
Верхний	+1	0,6	0,8	1,25
Нижний	-1	0,2	0,5	0,4

Табл. 2

Матрица планирования и результаты опытов

x_0	x_1	x_2	x_3	y_{i_1} , мкм	y_{i_2} , мкм	y_i , мкм
+1	-1	-1	+1	0,65	0,73	0,69
+1	+1	-1	+1	1,37	1,46	1,41
+1	-1	+1	+1	0,56	0,62	0,59
+1	+1	+1	+1	1,31	1,27	1,29
+1	-1	-1	-1	0,74	0,70	0,72
+1	+1	-1	-1	1,41	1,49	1,45
+1	-1	+1	-1	0,66	0,62	0,64
+1	+1	+1	-1	1,41	1,33	1,37

Исследование проводилось по методу полного факторного эксперимента 2^3 (табл. 1). Переменными факторами при постановке эксперимента являлись: верхнее значение подачи s , мм/об; нижнее значение подачи, выраженное параметром h ; длина обработки, соответствующая изменению подачи между ее предельными значениями, L , мм. Шероховатость поверхности оценивалась по параметру Ra .

Параметр h указывает на часть, которую составляет нижнее значение подачи от ее верхнего значения. Нижний и верхний уровни параметра h назначены из условия рационального использования метода обработки с модулированной подачей с точки зрения производительности обработки и качества поверхности. С уменьшением параметра h происходит уменьшение среднего значения подачи, что ведет к увеличению машинного времени обработки. Кроме этого, с увеличением разности между верхним и нижним предельными значениями подачи растет величина поперечной волнистости, которая определяется перепадом радиальной составляющей силы резания R_y и жесткостью системы СПИД. Слишком большие значения h приводят к уменьшению эффекта от использования модулированного изменения подачи.

Длина обработки, соответствующая значению подачи между ее предельными значениями L , определяет частоту модуляции подачи. Хороший эффект от метода модулированного изменения подачи может быть получен при частоте модуляции около 2,75 Гц. Величина L для указанной частоты модуляции с учетом особенностей метода изменения подачи может изменяться в пределах 0,4...1,25 мм.

В результате полного факторного эксперимента, матрица которого приведена в табл. 2, получены коэффициенты уравнения регрессии:

$$b_0 = 1,02; \quad b_1 = 0,36; \quad b_2 = -0,049; \quad b_3 = -0,025;$$

$$b_{1,2} = -0,0025; \quad b_{1,3} = -0,005; \quad b_{2,3} = 0,0075; \quad b_{1,2,3} = 0,0025.$$

С учетом значимости коэффициентов регрессии математическая модель имеет вид:

$$y = 1,020 + 0,360x_1 - 0,049x_2 - 0,025x_3. \quad (1)$$

Адекватность линейного уравнения была проверена и подтверждена по критерию Фишера.

В уравнение (1) факторы входят в кодовых значениях. Пользуясь зависимостями

$$x_1 = \frac{s_{\max} - 0,4}{0,2}; \quad x_2 = \frac{h - 0,15}{0,15}; \quad x_3 = \frac{L - 0,825}{0,425},$$

получим уравнение (1) в натуральных величинах:

$$Ra = 0,5 + 1,8s_{\max} - 0,326h - 0,058L. \quad (2)$$

Уравнение (2) справедливо для значений s_{\max} , h , L в выбранных пределах варьирования.

Выводы. 1. Наибольшее влияние на шероховатость обработанной поверхности оказывает верхнее значение подачи (с его увеличением шероховатость значительно возрастает).

2. Меньше влияет на микронеровность нижнее значение подачи. С ее уменьшением шероховатость обработанной поверхности увеличивается из-за преобладания неровностей, обусловленных колебанием составляющей силы резания P_y .

3. Длина обработки, соответствующая изменению подачи между ее граничными значениями в выбранном интервале варьирования, оказывает небольшое влияние на шероховатость обработанной поверхности. С увеличением длины L происходит незначительное уменьшение шероховатости.

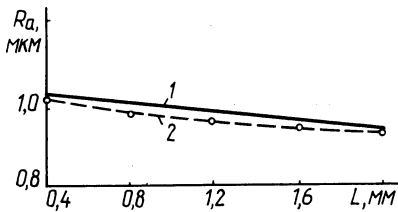


Рис. 1. Зависимости среднего арифметического отклонения профиля Ra от длины обработки L , соответствующей изменению подачи между ее предельными значениями:

1 — при расчете по уравнению регрессии; 2 — по экспериментальным данным

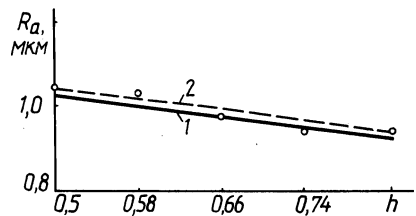


Рис. 2. Зависимости среднего арифметического отклонения профиля Ra от h :

1 — при расчете по уравнению регрессии; 2 — по экспериментальным данным

Сделанные выводы подтверждаются некоторыми частными зависимостями, полученными классическим методом (Гаусса — Зайделя). На рис. 1 представлен график зависимости Ra от L при изменении подачи от 0,2 до 0,4 мм/об. Наблюдается незначительное снижение высоты микронеровностей при изменении L от 0,4 до 1,2 мм. График зависимости Ra от h представлен на рис. 2 ($s_{\max} = 0,4$ мм/об; $L = 0,4$ мм). Графики строились по средним значениям десяти замеров.

А.И.КОЧЕРГИН, канд. техн. наук (БПИ),
М.А.МЕЛЬГУЙ, канд. физ.-мат. наук (ИПФ
АН БССР), Н.В.ОВЧИННИКОВА (БПИ)

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ СТАЛИ 20ХН3А МАГНИТНЫМ МЕТОДОМ

Создание надежных методов прогнозирования обрабатываемости изделий из ферромагнитных материалов без их разрушения или проведения длительных стойкостных испытаний инструмента особо актуально в условиях массового производства, где физико-механические свойства заготовок, поступающих на механическую обработку, колеблются в широких пределах. С этой целью устанавливают связь между обрабатываемостью, физико-механическими свойствами и химическим составом сталей.

Известны магнитные методы неразрушающего контроля физико-механических свойств сталей, которые основываются на теории ферромагнетизма и теории механических свойств сталей. Проведенными исследованиями проверяется предположение о возможной связи обрабатываемости с величиной магнитных параметров обрабатываемого материала, в свою очередь связанных с физико-механическими свойствами.

Задачей исследования является установление связей между мощностью N при сверлении осевого отверстия, принятой в качестве показателя обрабатываемости материала, величиной градиента ∇H_r нормальной составляющей поля остаточной намагниченности после намагничивания импульсным аксиально симметричным полем, ось симметрии которого перпендикулярна поверхности изделия, твердостью по Бринеллю H_B и химическим составом стали.

В качестве объекта исследования принята заготовка детали массового производства „вал—шестерня” из стали 20ХН3А. На операцию механической обработки деталь поступает после нормализации с допустимой твердостью H_B 1560...2410 МПа. При этом детали нормальной твердости часто имеют неудовлетворительную обрабатываемость. В результате на операции сверления осевого отверстия диаметром 40 мм и длиной 340 мм наблюдаются повышенный износ и поломки инструмента. Токарный инструмент также интенсивно изнашивается, и нормы его расхода резко увеличиваются.

Намагничивание заготовок и измерение градиента ∇H_r нормальной составляющей остаточного магнитного поля осуществлялось с помощью импульсного магнитного анализатора ИМА-5, разработанного в Институте прикладной физики АН БССР.

Твердость и химический состав заготовок оценивались стандартными методами. Мощность при сверлении регистрировалась самопишущим ваттметром Н-348, включенным в цепь двигателя главного привода сверлильной бабки агрегатного станка.

Изменение химического состава и структурного состояния исследуемых заготовок вызывает изменение градиента ∇H_r . Статистическая связь между ∇H_r и содержанием химических элементов в исследуемых заготовках описывается уравнением множественной регрессии:

$$\nabla H_r = -26197,754 + 224692,1C - 6086,609Cr - 4949,043Mn + 2,847Ni + 9784,516Mo.$$

Коэффициент множественной корреляции между ∇H_r и химическим составом стали равен 0,578.

Зависимость между мощностью N , потребляемой при сверлении, и градиентом ∇H_r выражается линейным уравнением

$$N = 2,22 + 1,4949 \nabla H_r.$$

Коэффициент корреляции между N и ∇H_r равен 0,708.

Зависимость между N и твердостью выражается также линейным уравнением:

$$N = 0,875 + 1,5729 HB.$$

Коэффициент корреляции между параметрами равен 0,637. Характер влияния параметров на затраты мощности при сверлении показан на рис. 1.

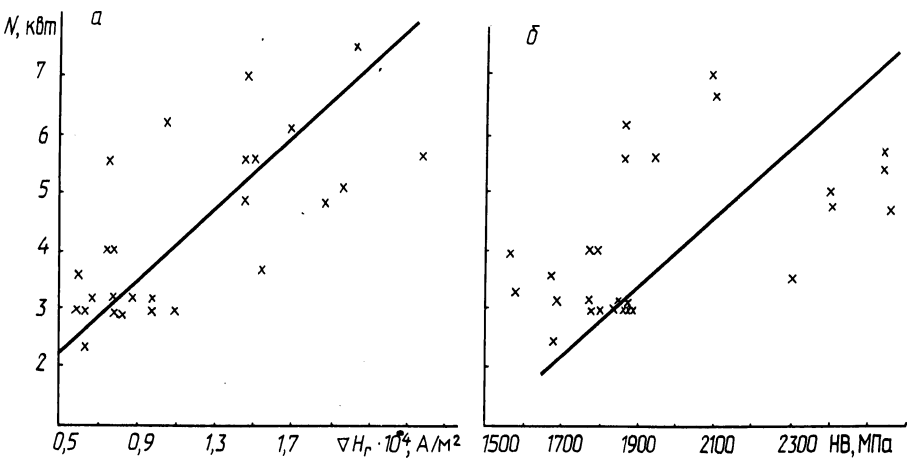


Рис. 1. Влияние параметров на затраты мощности N при сверлении стали 20ХН3А

Затрачиваемая при сверлении мощность N более тесно связана со значением градиента ∇H_r , чем с твердостью HB . Следовательно, градиент является более точной характеристикой обрабатываемости, чем твердость заготовки.

Магнитный контроль обрабатываемости может быть осуществлен автоматически, и его результаты могут быть использованы в системах адаптивного управления процессами обработки.

Например, по результатам такого контроля производится автоматическое регулирование режима резания, а также разбраковка заготовок на входе технологической системы. Измерительный преобразователь магнитных характеристик обрабатываемого материала может быть установлен на отдельной позиции технологической системы или встроен в схват промышленного робота, а также в приспособление для закрепления заготовки.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ ВАРИАНТ МЕТОДА ТОРЦЕВОГО ТОЧЕНИЯ

Случайный характер показателя обрабатываемости v_{60} обуславливается варьированием свойств обрабатываемого материала и стойкости инструментов и может быть оценен экспериментально. Для этого при каждой частоте вращения шпинделя n необходимо выполнить ряд опытов, дающих случайные значения радиуса R_n [1] и скорости резания v_{60} , а затем определить среднее значение, доверительный интервал, коэффициент вариации v_{60} . Статистический подход к определению скорости резания v_{60} дает возможность находить ее оценки в результате выполнения опытов при одной частоте вращения шпинделя, в качестве которой целесообразно выбрать высокий уровень, для которого радиусы затупления R_n оказываются малыми.

Экспериментальную проверку статистического варианта метода торцевого точения выполняли с использованием образцов из стали 40X и резцов из быстрорежущей стали с обычными для этого метода геометрическими параметрами при глубине резания $t = 3$ мм, подаче $s = 0,3$ мм/об. В результате семи повторений опыта при частоте вращения шпинделя 500 об/мин получен ряд значений радиуса затупления R_n : 33,5; 26,5; 30,5; 32; 30,5; 32,5; 31,5 мм. В предположении нормальности распределения значений R_n при доверительной вероятности 0,95 определен доверительный интервал $28,9 \text{ мм} \leq R_n \leq 33,1 \text{ мм}$. Доверительный интервал $40,2 \text{ м/мин} \leq v_{60} \leq 46,7 \text{ м/мин}$ скорости резания v_{60} при стойкости инструмента $T = 60$ мин определили, пользуясь зависимостями

$$C = \frac{2\pi R_n n}{1000} \sqrt{\frac{R_n}{\text{sn}(m+1)}}; \quad (1)$$

$$v = C/T^{1/m}. \quad (2)$$

Этот же результат получили графическим путем, когда через концы доверительного интервала значений R_n под углом α к оси абсцисс ($\text{tg } \alpha = \frac{m+1}{m-1}$) провели прямые (рис. 1, а). Скорость резания v_{60} , определенная обычным методом торцевого точения (рис. 1, б), находится в доверительном интервале $35,1 \text{ м/мин} \leq v_{60} \leq 46,5 \text{ м/мин}$.

Аналогичный результат получен и для серого чугуна СЧ 12-28. По статистическому варианту метода торцевого точения определен доверительный интервал $44 \text{ м/мин} \leq v_{60} \leq 64,9 \text{ м/мин}$, по методу торцевого точения – доверительный интервал $50,5 \text{ м/мин} \leq v_{60} \leq 72,9 \text{ м/мин}$ (рис. 2). Таким образом, статистический вариант метода торцевого точения дает возможность на образцах малого диаметра находить скорость резания v_{60} практически с той же точностью, что и обычный метод торцевого точения.

Найдем связь между погрешностями R_n и v_{60} при определенной частоте вращения шпинделя. Из выражения (1) по методике [2] получаем зависимость между дисперсиями C и R_n :

$$s_C^2 = \left(\frac{\partial C}{\partial R_n}\right)^2 s_{R_n}^2 = \left(\frac{1+m}{m} K R_n^{1/m}\right)^2 s_{R_n}^2,$$

где $K = \frac{2\pi R_n n}{1000 [\text{sn}(m+1)]^{1/m}}$

Разделив это уравнение на выражение (1), возведенное в квадрат, получаем

$$\frac{s_C^2}{C^2} = \left(\frac{1+m}{m}\right) \frac{s_{R_n}^2}{R_n^2}; \quad \frac{s_C}{C} = \frac{1+m}{m} \frac{s_{R_n}}{R_n}$$

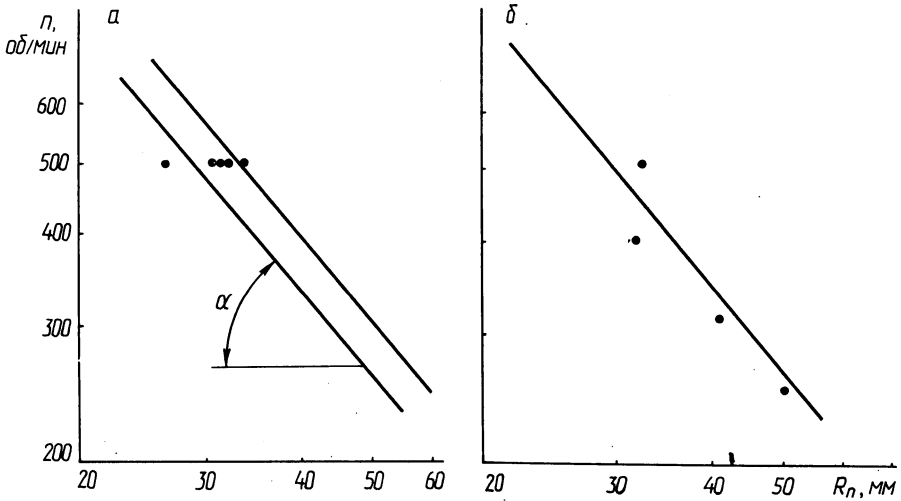


Рис. 1. Определение скорости резания v_{60} для стали 40X

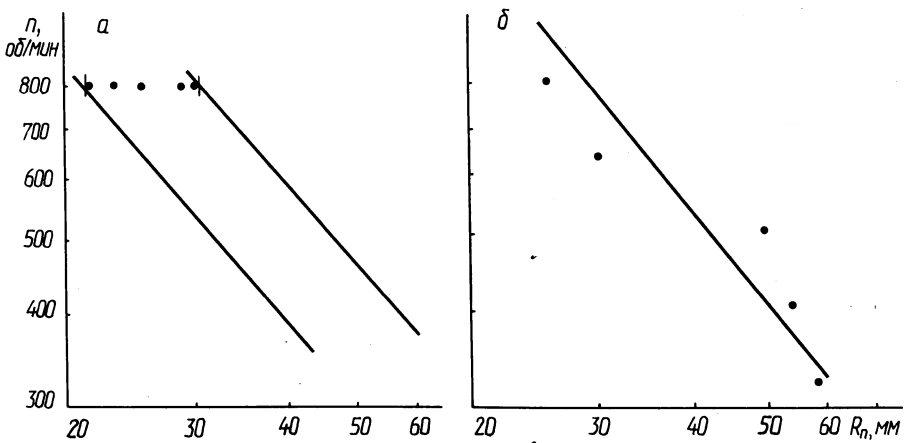


Рис. 2. Определение скорости резания v_{60} для чугуна СЧ 12-28

Из выражения (2) следует зависимость между относительными ошибками v и C

$$\frac{s_v}{v} = T \frac{1}{2^m} \frac{s_C}{C}$$

Окончательная зависимость между относительными ошибками скорости резания v_{60} и радиуса R_n :

$$\frac{s_{v_{60}}}{v_{60}} = \frac{60^{1/2m} (1+m)}{m} \frac{s_{R_n}}{R_n}$$

УДК 621.95

РОЙ АРУП КУМАР (БПИ)

СИЛА И ТЕМПЕРАТУРА РЕЗАНИЯ ПРИ СВЕРЛЕНИИ МЕДИ

Исследовано влияние разных факторов на осевую силу и температуру резания при сверлении меди МЗ сверлами из стали Р6М5 (диаметр 12 мм, плоская заточка, задний угол 15° и угол при вершине 117°). Влияние подачи s в диапазоне 0,061...0,220 мм/об и скорости резания v в диапазоне 15...41,4 м/мин на осевую силу P и крутящий момент M при сверлении на глубину трех диаметров с охлаждением эмульсией выражается зависимостями: $P = 8627s^{0.56}/v^{0.11}$; $M = 96,6s^{0.8}/v^{0.5}$.

При этом осевая сила вдвое меньше по сравнению с силой при сверлении стали 40Х. Глубина сверления до семи диаметров мало влияет на силу и крутящий момент.

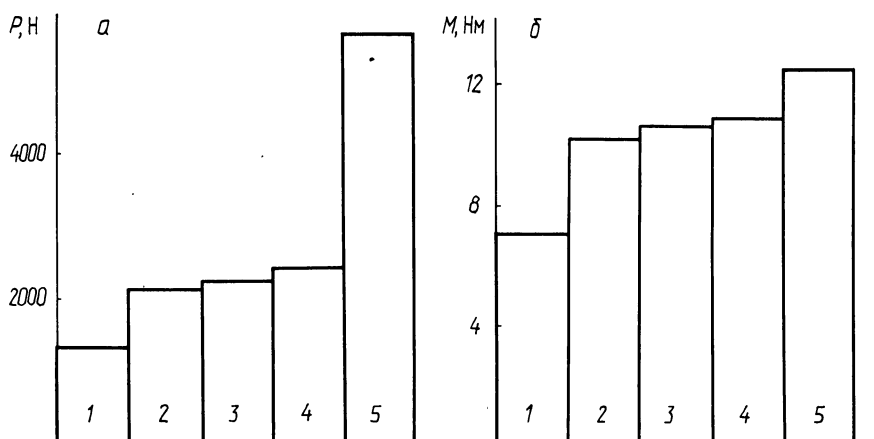


Рис. 1. Влияние материала и качества поверхностей сверл на осевую силу (а) и крутящий момент (б):

1 — фрезерованные сверла с полированными канавками; 2 — сверла с покрытием нитридом титана; 3 — сверла с покрытием нитридом титана и переточечными задними поверхностями; 4 — фрезерованные сверла; 5 — шлифованные сверла

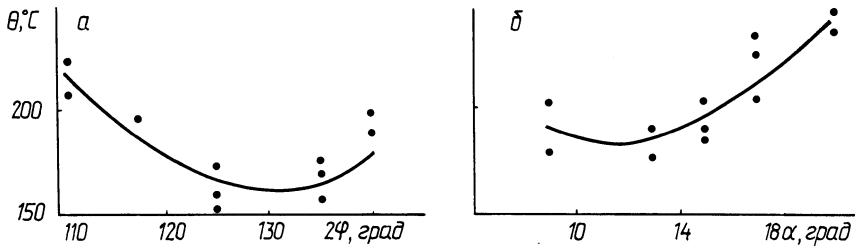


Рис. 2. Влияние геометрических параметров сверла на температуру резания

Увеличение угла при вершине сверла от 110 до 140° при плоской форме задних поверхностей сопровождается снижением осевой силы в 1,4 раза, крутящего момента в 1,6 раза. Сила и крутящий момент оказались минимальными при заднем угле сверла 15°. Установлено, что на долю поперечного режущего лезвия (перемычки) приходится около 70 % осевой силы и около 30 % крутящего момента.

Материал и качество поверхностей сверл оказывают значительное влияние на осевую силу и малое — на крутящий момент (рис. 1). Наименьшая осевая сила возникает при обработке фрезерованными сверлами с полированными канавками и сверлами с покрытием нитридом титана, наибольшая — для шлифовальных сверл. Последнее может быть объяснено наличием молекулярного схватывания между весьма гладкими поверхностями сверла и стружки.

Температура резания, измеренная по методу естественной термопары, при сверлении отверстий на глубину одного диаметра сверлами с оптимальной геометрией связана с параметрами режима резания следующей зависимостью: $\theta = 33,3s^{0,11}v^{0,6}$. При этом температура резания в 2,2 раза ниже, чем при сверлении стали 40X. Минимальное значение температуры резания наблюдается при обработке сверлами с задним углом 13° (рис. 2). Максимальное ее значение при малом заднем угле можно объяснить значительным тепловыделением из-за трения задней поверхности инструмента и обрабатываемого материала, а при большом заднем угле — ухудшением теплоотвода с уменьшением угла заострения сверла.

С использованием трубок с толщиной стенки 2 мм и метода естественной термопары установлено, что вдоль режущего лезвия температура резания изменяется так же, как и при обработке стали. Наибольшего значения температура резания достигает на расстоянии 0,35...0,4 длины режущего лезвия, считая от периферии. К периферии сверла температура резания снижается вследствие отвода тепла в заготовку.

К ВЫБОРУ ПАРАМЕТРОВ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ

При обработке плоскостей ротационными инструментами частота вращения их режущей части зависит от установочных, конструктивных и геометрических параметров режущего инструмента и оказывает определяющее влияние на процесс резания и износостойкость режущих лезвий. Точность определения скорости резания в этом случае зависит от точности измерения частоты вращения режущей части.

В Могилевском машиностроительном институте разработан преобразователь частоты вращения с использованием фотоприборов (рис. 1). Он основан на принципе бесконтактного измерения частоты вращения. Вращающийся на оси инструмента диск с отверстием прерывает луч света, падающий на фотодиод от осветительной лампы (рис. 2). Фотодиод входит в первичный преобразователь П, вырабатывающий короткие импульсы, частота следования которых определяется частотой вращения режущих лезвий. Эти импульсы после усилителя У поступают на реальное дифференцирующее звено, описываемое дифференциальным уравнением

$$T \frac{dU_{\text{Вых}}}{dt} + U_{\text{Вых}} = T \frac{dU_{\text{Вх}}}{dt},$$

где T — постоянная времени цепи.

При подаче на вход дифференцирующей цепи прямоугольного импульса длительностью $t_H > T$ и амплитудой U_1 на выходе звена получают два разнополярных экспоненциальных импульса:

$$U_2 = U_1 \exp\left(-\frac{t}{T}\right).$$

Однополупериодный выпрямитель В пропускает на формирователь Ф импульсы только одной полярности. С выхода формирователя импульсы с постоянной амплитудой и длительностью поступают на измерительный прибор И. Измерение производится обычно электронным частотомером.

Оценим влияние на точность измерения частоты вращения инструмента величины постоянной времени дифференцирующей цепи. В реальных условиях фронт импульса на входе дифференцирующей цепи не может нарастать мгновенно, что отражается на изменении амплитуды выходного сигнала U_2 . Зависимость амплитуды выходного напряжения от времени нарастания входного импульса t_H определяется выражением

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{1 - \exp(-x)}{x},$$

где $x = t_H/T$.

С увеличением постоянной времени цепи амплитуда на выходе возрастает. Однако при значительном увеличении постоянной времени возникают переходные искажения, заключающиеся в наложении импульсов друг на друга.

Остаточное напряжение предыдущего импульса вычитается из амплитуды последующего. Практически отсутствие переходных искажений наблюдается при условии $2,3T < t_{и}$. С другой стороны, должно выполняться условие обеспечения достаточности амплитуды выходного сигнала. При $T > 4t_{н}$ амплиту-

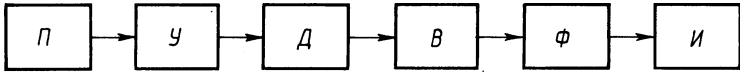


Рис. 1. Блок-схема бесконтактного измерения частоты вращения

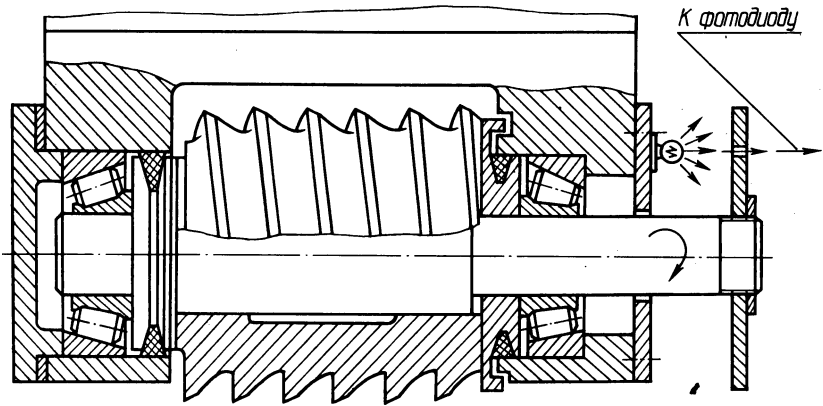


Рис. 2. Инструмент для обработки плоскости с устройством определения частоты вращения

да выходного сигнала превышает 90%. Значительное ослабление выходного сигнала вызывает необходимость в дополнительном усилении, т. е. в усложнении схемы.

Использование фотоэлектронного преобразователя, описанного выше, не требует высокой квалификации рабочего по обслуживанию.

Глава II. ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ И ТОЧНОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

УДК 621.914:621.83

П.С.ЧИСТОСЕРДОВ, канд. техн. наук,
А.И.КРЕЗ (ММИ)

ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ СИНУСОИДАЛЬНЫХ КАНАВОК

В Могилевском машиностроительном институте разработан принципиально новый редуктор с синусошариковым зацеплением, основной особенностью которого является наличие замкнутых синусоидальных канавок на наружных и внутренних цилиндрических поверхностях его деталей. Такие канавки фрезеруются с помощью специального устройства к вертикально-фрезерному станку (рис. 1). Назначение этого устройства заключается в прида-

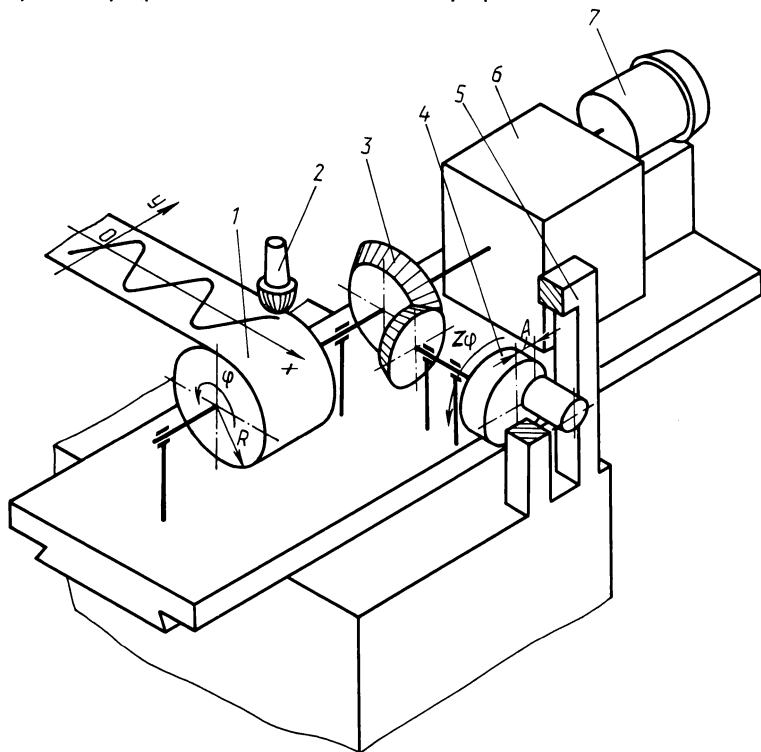


Рис. 1. Принципиальная кинематическая схема устройства для нарезания синусоидальных канавок на цилиндрических поверхностях:
1 — заготовка; 2 — фреза; 3 — коническая передача; 4 — эксцентрик; 5 — поперечина; 6 — понижающий редуктор; 7 — электродвигатель

нии обрабатываемой заготовке (имеющей вращательное движение) с помощью эксцентрика, кинематически связанного с ней, возвратно-поступательно-го движения. Это движение подчиняется гармоническому закону:

$$S = A \sin Z\varphi,$$

где A — эксцентриситет, равный амплитуде воспроизводимой синусоиды; Z — передаточное отношение кинематической цепи, связывающей вращение заготовки и эксцентрика; φ — угол поворота заготовки.

Таким образом, описываемое устройство строит на цилиндрической поверхности радиуса R кривую, параметрические уравнения которой в развертке имеют вид

$$y = S = A \sin Z\varphi, \quad x = R\varphi. \quad (1)$$

Эти уравнения, описывающие синусоиду в системе координат xOy , жестко связанной с заготовкой, получаются в случае идеально точного изготовления устройства.

Отклонение эксцентриситета эксцентрика от заданного значения влечет за собой изменение амплитуды синусоиды на величину, равную этому отклонению. Следовательно, погрешность координаты y будет зависеть от угла φ :

$$\Delta y_1 = \pm \delta \sin Z\varphi. \quad (2)$$

На координату x эта погрешность влияния не оказывает, т. е. $\Delta x_1 = 0$.

Непараллельность оси детали направляющим стола в вертикальной плоскости сказывается только на изменении глубины синусоидальной канавки, но не на ее форме. Непараллельность же в горизонтальной плоскости (рис. 2, а) приведет к тому, что воспроизводимая кривая будет отличаться от синусоиды, причем при непараллельности на угол α параметрические уравнения этой кривой будут иметь вид:

$$\begin{aligned} y_2 &= A \cos \alpha \sin Z\varphi; \\ x_2 &= R\varphi + A \sin \alpha \sin Z\varphi. \end{aligned}$$

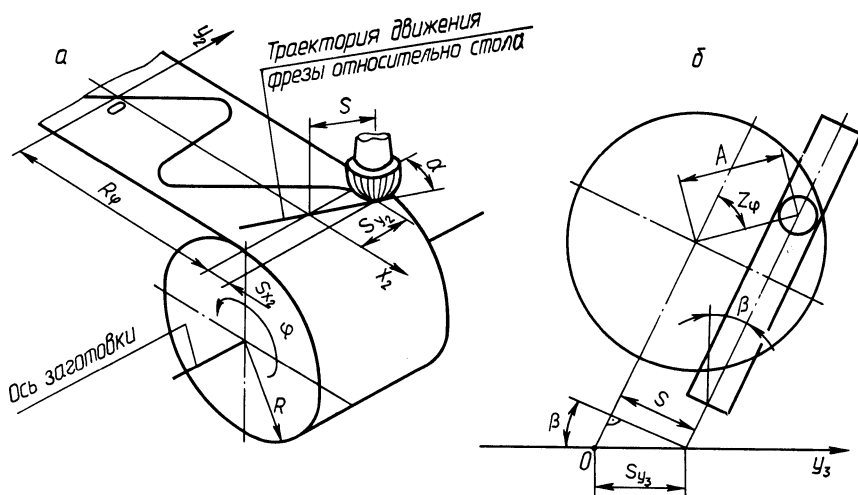


Рис. 2. Схемы для определения погрешностей обработки синусоидальных канавок в зависимости от непараллельности оси детали направляющим стола (а); неперпендикулярности паза поперечины направляющим стола (б)

Сравнив приведенные выражения с параметрическими уравнениями синусоиды (1), получим зависимость погрешностей координат от угла φ :

$$\begin{aligned}\Delta y_2 &= y_2 - y = A (\cos \alpha - 1) \sin Z \varphi; \\ \Delta x_2 &= x_2 - x = A \sin \alpha \sin Z \varphi.\end{aligned}\quad (3)$$

Расчетная схема для определения параметрических уравнений кривой при неперпендикулярности паза поперечины направляющим стола приведена на рис. 2, б. Очевидно, что эта погрешность, как и в первом случае, не влияет на характер изменения координаты x и, следовательно, $\Delta x_3 = 0$. Однако зависимость $y = f(x)$ будет носить другой характер, отличный от описанного в выражении (1). Так, при отклонении от перпендикулярности на угол β координата y будет равна

$$y_3 = A \sin Z \varphi / \cos \beta.$$

Погрешность, вызванная неперпендикулярностью паза поперечины направляющим стола, определится как

$$\Delta y_3 = y_3 - y = A \sin Z \varphi (\sec \beta - 1).$$

Из анализа выражений (2), (3) и (4) следует, что максимальные значения всех этих погрешностей будут при одном и том же значении угла φ , при котором $\sin Z \varphi = \pm 1$, т. е. этот угол равен $k\pi/2Z$ (где k — целое число). При этом значении угла φ максимальные погрешности будут определяться следующими выражениями:

$$\begin{aligned}\Delta y_{1 \max} &= \pm \delta; \\ \Delta y_{2 \max} &= A (\cos \alpha - 1); \\ \Delta x_{2 \max} &= A \sin \alpha; \\ \Delta y_{3 \max} &= A (\sec \beta - 1).\end{aligned}\quad (5)$$

Суммарная максимальная погрешность определится по формуле:

$$\Delta_{\max} = \sqrt{(\Delta y_{1 \max} + \Delta y_{2 \max} + \Delta y_{3 \max})^2 + (\Delta x_{2 \max})^2}.$$

Подставив вместо величин, входящих в формулу, их значения, получим:

$$\Delta_{\max} = \sqrt{[\pm \delta + A (\cos \alpha - 1) + A \frac{1 - \cos \beta}{\cos \beta}]^2 + (A \sin \alpha)^2}.$$

Анализ выражений (5) показывает, что Δy_2 и Δy_3 — величины высшего порядка малости по сравнению с Δx_2 , и ими можно пренебречь. Проиллюстрируем это на следующем примере. Если принять $A = 20$ мм, $\alpha = 0,5^\circ$ и $\beta = 0,5^\circ$, то

$$\begin{aligned}\Delta y_{2 \max} &= 20 (\cos 0,5 - 1) = -0,0008; \\ \Delta x_{2 \max} &= 20 \sin 0,5 = 0,1745; \\ \Delta y_{3 \max} &= 20 \frac{1 - \cos 0,5}{\cos 0,5} = 0,0008.\end{aligned}$$

Учитывая также, что погрешность эксцентриситета при нарезании канавок на наружных и внутренних цилиндрических поверхностях, работающих совместно, одним и тем же эксцентриком практически не оказывает влияния

на работу редуктора, то максимальную погрешность с достаточной для практических целей точностью можно определить по формуле: $\Delta_{\max} = A \sin \alpha$.

Таким образом, повышение точности обработки синусоидальных канавок определяется точностью изготовления базирующих элементов заготовки и установочных элементов устройства, посредством которых заготовки устанавливаются параллельно направляющим стола в горизонтальной плоскости.

УДК 621.993.042

В.И.ШАГУН, канд. техн. наук (БПИ)

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ РЕЗАНИЯ МАШИНЫМИ МЕТЧИКАМИ НА ОТКЛОНЕНИЯ ФОРМЫ СРЕДНЕГО ЦИЛИНДРА РЕЗЬБЫ, НАРЕЗАЕМОЙ В ЧУГУНЕ

Точность формы среднего цилиндра резьбы в значительной мере определяет работоспособность резьбовых сопряжений и зависит от условий резьбообработки. Результаты исследований по нарезанию резьбы М16 в чугуне СЧ 18-36, выполненные в БПИ, сведены в табл. 1.

Параметры метчиков, использованных для исследований: передний угол — 10° ; задний угол — 5° ; угол заборной части — $14^\circ 50'$; обратная конусность — 0,1:100; стружечные канавки метчиков прямые; длина рабочей части метчиков — 17 шагов; затылование по профилю — 0,135 мм на угловом шаге перьев метчиков типа А (затылованы по профилю на всей ширине пера) и 0,4 мм у метчиков типа Б (затылованы по профилю на 2/3 ширины пера); радиальное биение режущих кромок на заборной части при проверке

Т а б л . 1

Отклонения формы среднего цилиндра резьбы М16х2 в чугуне

Патрон	Исследуемый фактор		Овальность, мкм		Отклонения формы продольного сечения, мкм	
			Тип метчика			
	наименование	значение	А	Б	А	Б
			Доверительные интервалы, мкм			
		$\pm 0,6$	$\pm 0,6$	$\pm 8,7$	$\pm 2,1$	
е, мм		0,0	2,1	2,0	4,8	1,2
		0,2	4,4	2,3	12,2	3,0
		0,4	4,5	2,7	8,8	4,4
ж	v, м/мин	5,0		2,5		4,4
		10,0		2,6		5,6
		35,0		2,7		4,6
СОЖ		сульфофрезол		2,8		11,4
		керосин		2,1		5,8
		эмульсия		3,0		8,4
п		керосин	4,3	1,4	64,0	4,6
		эмульсия	2,0	2,1	13,0	7,0

Обозначения: ж — жесткий; п — плавающий; е — радиальное биение метчика по заборной части; v — скорость резания; СОЖ — смазывающе-охлаждающая жидкость.

в центрах не более 0,01 мм; радиальное биение по наружному и среднему диаметрам резьбы, а также хвостовику до 0,005 мм.

Постоянные условия опыта: резьбу нарезают методом самозатягивания метчика; скорость резания равнялась 10 м/мин; смазывающе-охлаждающая жидкость — керосин; длина нарезаемых отверстий 25 мм; смещение и перекос осей нарезаемых отверстий относительно оси вращения шпинделя станка не более 0,015 мм; податливость в радиальном направлении на конце метчика, закрепленного в жестком патроне — 0,005 мм/Н, радиальное биение метчика не более 0,01 мм.

Меньшие отклонения формы среднего цилиндра резьбы, нарезанной метчиками типа Б, можно объяснить более устойчивым положением этих метчиков в отверстии. Метчики типа А опираются на поверхности нарезаемой резьбы боковыми режущими кромками с задним углом около 20°, в то время как метчики Б имеют развитые незатылованные по профилю опорные площадки. В связи с этим они меньше смещаются в радиальном и осевом направлениях под действием внутренних и внешних сил.

СОЖ является масштабным фактором. Если она хорошо проникает в зону резания и уменьшает трение на округленных участках боковых опорных режущих кромок, то уменьшается резание этими кромками под действием осевых и радиальных сил. СОЖ оказывает стабилизирующее воздействие на поведение метчика. Разбивание резьбы по среднему диаметру и отклонения формы среднего цилиндра соответственно уменьшаются. Поэтому в условиях опыта меньшие отклонения формы среднего цилиндра резьбы получены в случае использования менее вязких, хорошо проникающих в зону резания 5%-ной эмульсии из эмульсона Э-2 (Б) и керосина.

Влияние скорости резания и радиального биения метчика типа Б статистически незначимо.

Таким образом, для повышения точности формы резьбовых поверхностей целесообразно уменьшать радиальное биение жестко закрепленного метчика и использовать СОЖ с хорошей смазывающей способностью в конкретных условиях применения.

УДК 658.562.00

Э.Н.ГОНЧАРОВ, канд. техн. наук,
М.М.КАНЕ, канд. техн. наук (БПИ),
О.В.КОНДИН (ЗИЛ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПЛАНОВ СТАТИСТИЧЕСКОГО ПРИЕМОЧНОГО КОНТРОЛЯ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К УСЛОВИЯМ ОПЕРАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

Для построения экономически оптимальных планов статистического приемочного контроля (СПК) необходимо определить характер распределения числа дефектных изделий в партиях продукции D и структуру затрат. Реальное распределение можно аппроксимировать смесью биномиальных:

$$F(D) = \sum_{i=1}^k b_i C_N^D q_i^D (1 - q_i)^{N-D}, \quad \sum_{i=1}^k b_i = 1,$$

где q_i — параметр биномиального распределения; N — объем партии.

Что касается структуры затрат, то она определяется местом операционного контроля в производственном процессе. В связи с этим рассмотрим две ситуации. Первая предполагает, что технологический процесс принципиально обеспечивает выпуск продукции с уровнем дефектности, не превышающим требования, записанные в нормативно-технической документации. Эта ситуация характерна для установившегося стабильного технологического процесса изготовления продукции. При этом $k = 1$ и параметр биномиального распределения $q \leq q_0$, где q_0 — средний допустимый уровень дефектности в партиях продукции. В этом случае ущерб от приемки дефектных изделий в составе принятых партий не может превысить лимитированного требованиями ($c_2 N q_0$, где c_2 — ущерб от приемки одной дефектной единицы продукции). Тогда варьирование вероятностью приемки партии с целью регулирования ущерба от приемки дефектных изделий теряет практический смысл, так как контроль здесь должен носить профилактический характер с целью выявления и бракования редких партий, изготовленных при разлаженном технологическом процессе. Главной задачей планирования контроля становится ограничение ущерба от случайного бракования хороших партий. В такой постановке задача была сформулирована А.Н.Колмогоровым, развита Ю.К.Беляевым и нашла свое решение в виде системы экономических планов.

Вторая ситуация характеризуется невозможностью технологического обеспечения требуемого уровня дефектности.

При этом задача ставится следующим образом. Проводится одноступенчатый статистический приемочный контроль. Если число дефектных изделий d в выборке объема n не превысит приемочного числа C , партия принимается, в противном случае партия подвергается разбраковке.

Пусть исходное распределение числа дефектных изделий в партиях — биномиальное.

Затраты на контроль изделий выборки $c_1 n$, где c_1 — стоимость контроля единицы продукции. При приемке партии с числом дефектных единиц D производство несет убытки от использования в дальнейшем производстве дефектной продукции, которые равны $c_2 (D - d)$. Учитывая биномиальное распределение D , средние суммарные затраты, отнесенные к $c_2 N q$,

$$E' = (1 - \chi) \sum_{d=0}^c C_n^d q^d (1 - q)^{n-d} + \chi, \quad (1)$$

$$\text{где } \chi = \frac{c_1}{c_2 q}.$$

Поскольку зависимость $\sum_{d=0}^c C_n^d q^d (1 - q)^{n-d}$ монотонная по n (изменяется от 1 при $n = 0$ и стремится к нулю при увеличении n), функция E' минимума не имеет. Следовательно, в рассмотренной постановке экономически оптимальных планов статистического приемочного контроля не существует. Однако можно указать вытекающее из выражения (1) рациональное решение: при $\chi < 1$ наименьшее значение относительные затраты принимают при $n = N$,

так как в этом случае $\sum_{d=0}^C C_n^d q^d (1-q)^{n-d} = \min$. При $\chi > 1$ наименьшее значение функция E' принимает при $n = 0$. Из сказанного вытекает целесообразность в случае $q \leq c_1/c_2$ отказаться от контроля партий, в случае $q > c_1/c_2$ — прибегнуть к разбраковке партии, т. е. к сплошному контролю.

Смесь биномиальных распределений характерна для второй ситуации. Если партия по результатам контроля выборки принимается, суммарные затраты определяются стоимостью контроля выборки $c_1 n$ и убытками от приемки дефектных изделий $c_2 (D - d)$. Если партия по результатам контроля бракуется, то издержки равны $c_1 N$. Средние относительные затраты

$$E' = \sum_{i=1}^k b_i P_{d_i} (a_i - \chi') + \chi', \quad (3)$$

где $\chi' = \frac{c_1}{c_2 q}$, $q = \sum_{i=1}^k b_i q_i$, $a_i = \frac{q_i}{q}$, $P_{d_i} = \sum_{d=0}^C C_n^d q_i^d (1 - q_i)^{n-d}$.

При всех $a_i > \chi'$ экономически выгоднее подвергать партии разбраковке; при всех $a_i \leq \chi'$ экономически целесообразно отказаться от контроля партий. Таким образом, экономически оптимальные планы возможны только тогда, когда для одной части q_i справедливы неравенства $a_i > \chi'$, а для другой $a_i < \chi'$.

Анализ результатов расчетов параметров экономически оптимальных планов на ЭВМ для $k = 2$ показал, что минимальные затраты на контроль достигаются при обеспечении планом контроля вероятности приемки партии первой совокупности, равной единице, а вероятности приемки партии второй совокупности — равной нулю. Однако при этом ясно, что выполнение указанных условий соответствует $n = N$ (при ограниченном C).

Экономически выгодно организовать статистический приемочный контроль таким образом, чтобы все партии, изготовленные при нормальном технологическом процессе, принимались, а все партии, изготовленные в условиях разлаженного производства, браковались. Однако такое решение приводит нас к повышению трудоемкости контроля. С другой стороны, из приведенных результатов видно, что при увеличении приемочного числа функция E' меняется все медленнее — в большинстве случаев при $C > 3$ убывание E' столь незначительно, что представляется нецелесообразным стремиться к использованию планов с большими приемочными числами.

Степень разлаженности технологического процесса в условиях серийного и массового производства следует оценивать с помощью показателей, рекомендуемых в ГОСТах 16.467—70 и 16.304—74, по методике, предложенной в ГОСТе 16.305—74. В условиях единичного и мелкосерийного производства необходимо учитывать также рекомендации ГОСТа 16.306—74.

Для уменьшения трудоемкости процесса разбраковки изделий целесообразно в условиях массового производства использовать контрольные автоматы, а в условиях серийного — измерительный инструмент с цифровой индикацией.

В.В.БАБУК, канд. техн. наук (БПИ),
А.Л.ЛАПИДУС (ВНИИСМИ),
В.А.НОСАЧ (г. Конотоп)

ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ЗУБЧАТОГО ВЕНЦА МЕТОДОМ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ

На кафедре „Технология машиностроения“ Белорусского политехнического института проведено исследование высокотемпературной термомеханической поверхностной обработки (ВТМПО), последовательно включающей на основных этапах аустенизацию поверхности, деформирование последней в аустенитном диапазоне нагрева и закалку на мартенсит. В частности, исследована возможность придания этапу деформирования формообразующей функции применительно к формообразованию зубчатого венца.

Лабораторные исследования проводились на деформирующем приспособлении, устанавливаемом на токарном станке взамен малого поперечного суппорта. Нагрев проводился двухвитковым кольцевым индуктором посредством машинного генератора токов высокой частоты (мощностью 63 кВт, частотой 8 кГц), охлаждение – эмульсией с помощью кольцевого спрейера. Индуктор, накатные валки приспособления и спрейер последовательно обеспечивали зоны нагрева, деформирования и охлаждения, соответствующие схеме ВТМПО.

Исследования проводились также на трехвалковом накатном стане вертикальной компоновки. При этом базовой явилась технология формообразования зубчатого венца, принятая на Конотопском электромеханическом заводе „Красный металлист“, которая включает горячее пластическое деформирование и последующую индукционную закалку.

Объектом исследований явились образцы цилиндрических зубчатых колес различных типоразмеров (модули 1...2 мм; количество зубьев 35...44) из различных марок сталей (45, 40Х) с прямым и наклонным зубом (12°). Деформирование производилось по схеме поперечной прокатки с осевой подачей заготовки.

Поскольку прокатный нагрев значительно превосходит нагрев для закалки (для стали 40Х соответственно 1000...1100 °С и 880...920 °С), приведение его величины в соответствие с условиями прокатки и закалки одновременно представляет известную трудность. В частности, при отработке режима нагрева ставилась задача уравнивать потери тепла за период между окончанием нагрева и началом охлаждения (включающий этап профилированного деформирования) и вышеуказанную разность между прокатным нагревом и нагревом для закалки (оба значения нагрева для условий ВТМПО должны находиться в температурной области устойчивого аустенита).

Контроль нагрева обрабатываемой поверхности производился оптическим пирометром и по режимам работы генератора токов высокой частоты.

Для исследования влияния режимов деформирования на точностные параметры получаемого зубчатого венца были опробованы различные сочетания

ния скоростей вращения накатных валков и осевых подач заготовки во всем технологически реализуемом диапазоне данных параметров (подача изменялась от 3 до 12 мм/с, скорость накатных валков — от 0,2 до 0,8 м/с). Для приведенных условий измерялось радиальное биение зубчатого венца у обрабатываемых деталей. Технологически реализуемый диапазон режимов получен экспериментально.

В результате опытов установлено, что с учетом требований производительности оптимальным является следующее сочетание режимов: осевая подача 7,2 мм/с, скорость накатных валков 0,5 м/с.

Важным фактором процесса является стабильность закалки, ее равномерность, что в значительной степени определяется параметрами струи: напором и расходом эмульсии в различных зонах закаливаемой поверхности.

Примененная сборная конструкция спрейера облегчила подбор оптимальных параметров охлаждения (интенсивности и равномерности распределения, продолжительности нахождения детали под струей). Первые два параметра обеспечивались подбором кольца спрейера (с определенными частотой, диаметром и распределением отверстий), третий параметр — подбором корпуса (различной высоты).

Цикл подачи эмульсии автоматизирован посредством реле времени. Постоянный подпор эмульсии создавался электронасосом К8/14, а управление подачей — нормально закрытым клапаном СВМ-25. Реле времени включалось одновременно с нагревом и было настроено таким образом, что подача эмульсии начиналась по окончании нагрева первой детали в пакете и заканчивалась после выхода последней детали из зоны охлаждения.

Вертикальная компоновка зон нагрева, деформирования и охлаждения, расположенных в перечисленной последовательности снизу вверх, позволила уравнивать условия охлаждения деталей (в пределах пакета) и использовать режим самоотпуска.

Результаты опытов показали реализуемость ВТМПО как способа формообразования зубчатого венца. В частности, установлена возможность получения стабильной закалки при условии подавления рекристаллизационных процессов.

В результате анализа изломов зубьев (в плоскостях, перпендикулярной и параллельной оси колеса), микроструктуры (шлифы в тех же плоскостях), а также рентгеновского исследования тонкой кристаллической структуры установлено измельчение последней и возникновение своеобразной текстурной картины поверхностных слоев зубчатого венца (рис. 1, 2).

Об измельчении структуры свидетельствовали характер изломов, результаты анализа микроструктуры, уменьшение областей когерентного рассеяния и значительное увеличение плотности дислокаций. Возникновение текстуры, в свою очередь, взаимно подтверждалось видами изломов, исследованием микроструктуры и изменением интегральной интенсивности линий (110) и (211).

На рис. 2 представлена текстурная картина поверхностных слоев. На передней боковой поверхности зуба (по направлению вращения заготовки) и во впадине зерна ориентированы по наружному контуру, а на тыльной боковой поверхности направленность носит спиралевидный характер. Данная текстурная картина устойчиво повторялась при анализе микроструктуры мате-

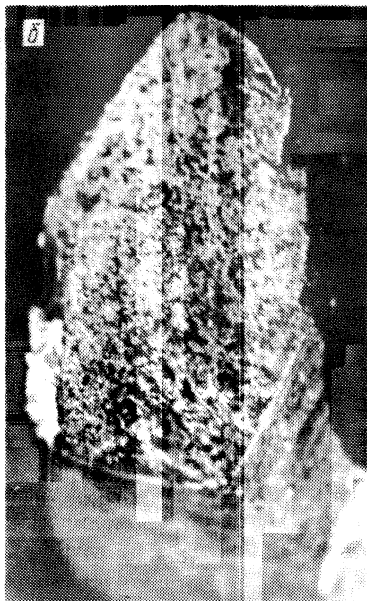
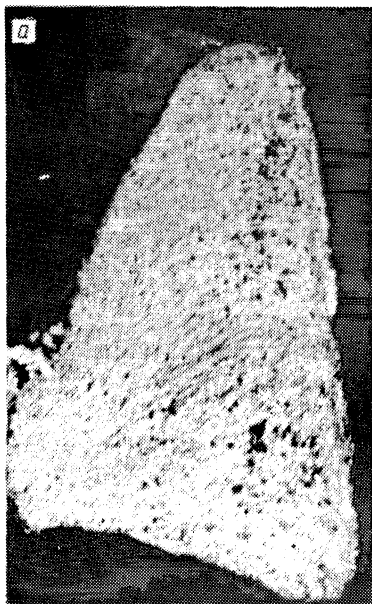


Рис. 1. Изломы зуба в плоскости, перпендикулярной оси колеса:
а — ВТМПО, б — базовый вариант

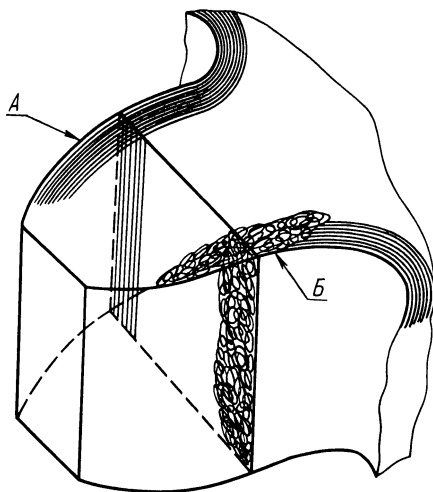


Рис. 2. Пространственная текстурная картина поверхностных слоев зубчатого венца (ВТМПО):

А — передняя поверхность, Б — тыльная поверхность

риала незакаленных зубчатых колес, а также аустенитного зерна и микроструктуры материала колес, полученных ВТМПО. Какая-либо направленность слоев у зубчатых колес, изготовленных по базовому варианту технологии, отсутствовала. Это свидетельствует о том, что возникшая при деформировании текстура в условиях ВТМПО наследуется аустенитным зерном и затем мартенситом, а при базовом варианте — исчезает (вследствие перестройки структуры, вызванной термической обработкой).

С учетом полученной оптимизации процесса на заводе „Красный металлист“ проведена работа по внедрению формообразования методом ВТМПО венца редукторных зубчатых колес для серийно выпускающихся сверл СЭР-19М и буров ЭБГП-1.

ДЕФОРМАЦИЯ ПЛОСКИХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ НАНЕСЕНИИ ПОКРЫТИЙ ИЗ САМОФЛЮСУЮЩИХСЯ СПЛАВОВ

Цель работы заключалась в исследовании процесса деформации плоских деталей типа направляющих при получении покрытий из самофлюсующихся сплавов и выборе оптимальных геометрических размеров основы под напыление.

В качестве объекта исследований использованы образцы из аустенитной стали 12Х18Н10Т и стали 20, упрочненные методом плазменной металлизации самофлюсующимся сплавом ПГ-СРЗ. Геометрические размеры образцов: длина 100 мм, ширина 10 мм, толщина изменялась от 2 до 10 мм. Приведенные значения длины и ширины образцов приняты для получения в них одноосного напряженного состояния. Толщина покрытия во всех случаях равна 1 мм. Исследование процесса деформации плоских образцов на всех этапах получения покрытий проводилась в специальном приспособлении. Схема приспособления показана на рис. 1. Образец 1 перед нанесением покрытия за-

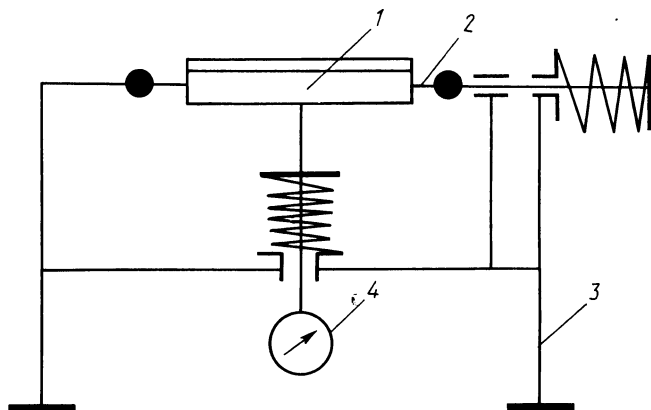


Рис. 1. Схема приспособления для измерения деформации плоских образцов в процессе получения покрытия

креплялся с двух сторон специальными захватами 2, шарнирно соединенными с основанием 3. Снизу к образцу через керамический переходник была присоединена измерительная система 4. Сверху приспособление закрывалось экраном с прорезью для нанесения и оплавления покрытия. Результаты измерений деформации образцов приведены на рис. 2. Из графиков следует, что конечная деформация образцов из аустенитной стали меньше, чем у образцов из стали 20, причем основной прирост деформации образцов из стали 20 происходит на этапе оплавления покрытия (рис. 2, б, III). Это связано с тем, что при остывании оплавленных образцов из стали 20 происходит сложение растягивающих напряжений, вызываемых разностью коэффициентов линейного

расширения материалов покрытия и основы, а также усадкой покрытия. При остывании образцов из аустенитной стали сжимающие напряжения, возникающие в результате разности коэффициентов линейного расширения, компенсируются растягивающими напряжениями, возникающими в результате усадки покрытия. В начале оплавления покрытий происходит уменьшение прогибов образцов (рис. 2, а, III; рис. 2, б, III). Это объясняется перераспределением напряжений в сечении образца в результате нагрева покрытия до темпе-

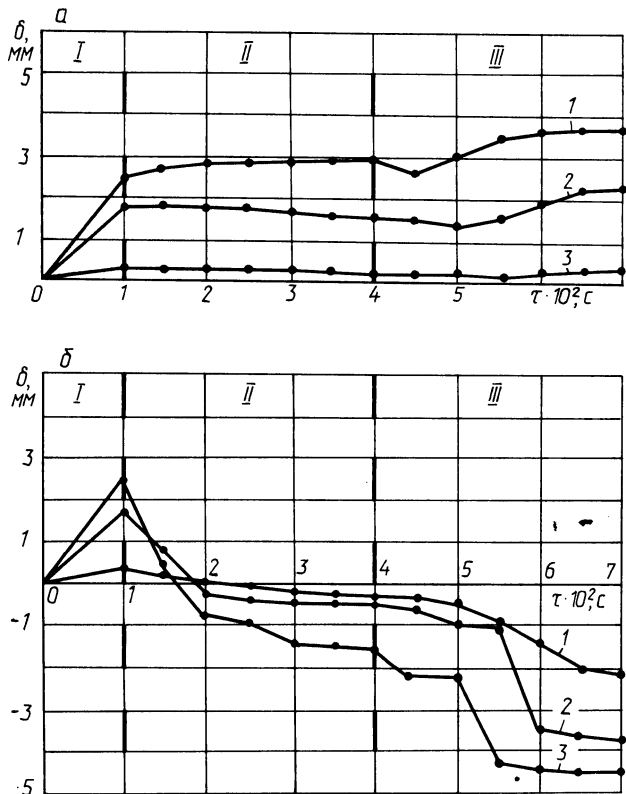


Рис. 2. Характер изменения деформации образцов в процессе получения покрытия:

а) сталь 12X18H10T, толщина основы: 1—2 мм, 2—4,5 мм, 3—6 мм; б) сталь 20, толщина основы: 1—2 мм, 2—3 мм, 3—8 мм (1 — дробеструйная обработка; II — нанесение покрытия из самофлюсующегося сплава; III — оплавление покрытия)

ратуры, близкой к температуре плавления, так как при этом уменьшается жесткость покрытия. При остывании покрытия деформация образца возрастает. Влияние процессов дробеструйной обработки и напыления покрытия сказывается на деформации образцов при толщине основы до 3 мм. При увеличении толщины основы жесткость образца повышается и напряжения, возникающие в результате дробеструйной обработки и напыления покрытия, не вызывают существенного увеличения деформации (рис. 2, а и 2, б, I и II).

Для определения зависимости деформации плоских деталей с покрытием из самофлюсующегося сплава ПГ-СРЗ от геометрических размеров основы проведено исследование прогибов упрочненных образцов из стали 20 толщиной от 0,5 до 10 мм и длиной от 50 до 200 мм, толщина покрытия во всех случаях была равна 1 мм. Результаты измерений показаны на рис. 3. Из приведенных данных следует, что длина основы является определяющим факто-

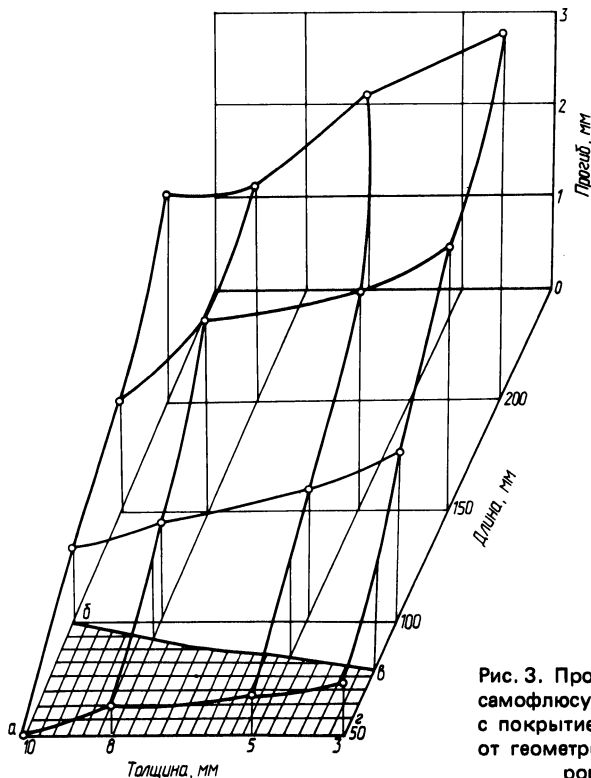


Рис. 3. Прогиб образцов из самофлюсующегося сплава с покрытием в зависимости от геометрических параметров основы

ром, влияющим на коробление деталей при получении покрытия. При принятой толщине покрытия 1 мм геометрические размеры детали следует выбирать из области а, б, в, г на рис. 3.

Таким образом, на процесс формирования остаточных напряжений в покрытии и на деформацию деталей при нанесении покрытий из самофлюсующихся сплавов преобладающее влияние оказывают усадка покрытия, различные коэффициенты линейного расширения покрытия и основы, температурные воздействия, а также характер предварительной обработки деталей под напыление и геометрические размеры основы и покрытия. Применение в качестве основы под напыление самофлюсующихся сплавов аустенитной стали позволяет получить в покрытии сжимающие остаточные напряжения и уменьшить коробление детали.

АНАЛИЗ ГЕОМЕТРИИ РОТАЦИОННОГО РЕЗЦА В ПРОЦЕССЕ РЕЗАНИЯ

Существующие приемы и методы геометрического анализа режущих инструментов для ротационного резания либо вообще неприемлемы в силу его специфичности, либо довольно сложны в практическом применении.

В данной статье предлагается методика геометрического анализа ротационных инструментов, базирующаяся на основных положениях дифференциальной геометрии и векторной алгебры. Эта методика обладает значительно большей общностью по сравнению с известными и позволяет анализировать геометрию в принципе любого инструмента.

Сущность рассматриваемой методики заключается в следующем. На режущей кромке инструмента (в данном случае круглого чашечного резца) в некоторой точке O проводим векторы, определяющие кинематику (рис. 1):

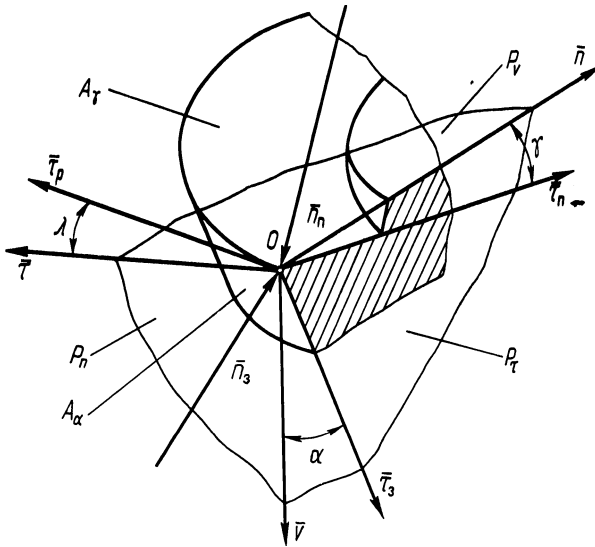


Рис. 1. Кинематические векторы в точке режущей кромки инструмента

вектор \vec{v} скорости главного движения, вектор нормали \vec{n} к поверхности резания, касательный вектор $\vec{\tau}$ к поверхности резания. Векторы \vec{v} и \vec{n} задают главную секущую плоскость P_T , векторы $\vec{\tau}$ и \vec{n} — основную плоскость P_V и векторы $\vec{\tau}$ и \vec{v} — плоскость резания P_n . Кроме того, проводим векторы, учитывающие форму и расположение режущих кромок и поверхностей инструмента: касательный вектор $\vec{\tau}_p$ к режущей кромке K , нормальный вектор \vec{n}_p к передней поверхности A_γ , нормальный вектор \vec{n}_3 к задней поверхности A_α , касательный вектор $\vec{\tau}_n$ к передней поверхности, касательный вектор $\vec{\tau}_3$ к задней

поверхности. При этом приняты следующие положительные направления векторов: для вектора \vec{v} — направление скорости движения заготовки; для вектора \vec{n} — направление от заготовки в сторону лезвия инструмента; для вектора $\vec{\tau}$ — такое направление, что если смотреть из конца вектора \vec{v} на основную плоскость, то поворот от вектора \vec{n} до вектора $\vec{\tau}$ происходил бы по часовой стрелке; для векторов \vec{n}_Π и \vec{n}_3 — направление к соответствующим поверхностям инструмента; для векторов $\vec{\tau}_\Pi$ и $\vec{\tau}_3$ — направление от режущей кромки в сторону инструмента; для вектора $\vec{\tau}_p$ — направление, совпадающее с направлением вектора $\vec{\tau}$.

Определяя передний угол γ через угол между векторами \vec{n} и $\vec{\tau}_\Pi$, задний угол α — через угол между векторами \vec{v} и $\vec{\tau}_3$, угол наклона режущей кромки λ — через угол между векторами $\vec{\tau}$ и $\vec{\tau}_p$, можем выразить их следующим образом:

$$\gamma = \widehat{\vec{n} \vec{\tau}_\Pi}, \quad \alpha = \widehat{\vec{v} \vec{\tau}_3}, \quad \lambda = \widehat{\vec{\tau} \vec{\tau}_p}.$$

По известным соотношениям векторной алгебры можно записать:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{|[\vec{n} \vec{\tau}_\Pi]|}{(\vec{n} \vec{\tau}_\Pi)}; \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{|[\vec{v} \vec{\tau}_3]|}{(\vec{v} \vec{\tau}_3)}; \quad \operatorname{tg} \lambda = \frac{|[\vec{\tau} \vec{\tau}_p]|}{(\vec{\tau} \vec{\tau}_p)}. \quad (1)$$

Из векторов, входящих в равенства (1), известен только вектор \vec{v} скорости главного движения, поэтому выразим через него векторы \vec{n} и $\vec{\tau}$, а неизвестные векторы $\vec{\tau}_p$, $\vec{\tau}_\Pi$ и $\vec{\tau}_3$ — через векторы \vec{v} , \vec{n}_Π и \vec{n}_3 .

Используя соответствующие формулы и преобразование векторной алгебры, а также учитывая, что направление вектора векторного произведения следует считать положительным тогда, когда поворот от первого вектора-сомножителя ко второму производится по часовой стрелке (в сторону острого угла), если смотреть с конца вектора векторного произведения, можем написать более развернутые векторные выражения для определяемых углов γ , α и λ .

С этой целью представим все используемые нами векторы через их орты (единичные векторы), обозначаемые теми же символами с нулевой индексацией:

$$\vec{v} = |\vec{v}| \vec{v}_0; \quad \vec{n} = |\vec{n}| \vec{n}_0; \quad \vec{\tau} = |\vec{\tau}| \vec{\tau}_0; \quad \vec{n}_\Pi = |\vec{n}_\Pi| \vec{n}_{\Pi 0}; \\ \vec{n}_3 = |\vec{n}_3| \vec{n}_{30}; \quad \vec{\tau}_\Pi = |\vec{\tau}_\Pi| \vec{\tau}_{\Pi 0}; \quad \vec{\tau}_3 = |\vec{\tau}_3| \vec{\tau}_{30}; \quad \vec{\tau}_p = |\vec{\tau}_p| \vec{\tau}_{p0}.$$

Покажем преобразования для переднего угла:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{|[\vec{n}_0 \vec{\tau}_{\Pi 0}]|}{(\vec{n}_0 \vec{\tau}_{\Pi 0})}. \quad (2)$$

Так как $\vec{n}_0 \perp \vec{v}_0$ и $\vec{n}_0 \perp \vec{\tau}_{p0}$, а орты \vec{v}_0 и $\vec{\tau}_{p0}$ не перпендикулярны, то между этими ортами существует следующая связь:

$$\vec{n}_0 = [\vec{\tau}_{p0} \vec{v}_0] a, \quad (3)$$

где a — некоторый постоянный множитель, учитывающий неперпендикулярность \vec{v}_0 и $\vec{\tau}_{p0}$.

Рассуждая аналогично, будем иметь

$$\vec{\tau}_{\Pi 0} \perp \vec{\tau}_0; \quad \vec{\tau}_{\Pi 0} \perp \vec{\tau}_\Pi \quad \text{и} \quad \vec{\tau}_{\Pi 0} = [\vec{\tau}_0 \vec{n}_{\Pi 0}] b.$$

Числитель в выражении (2) будет:

$$|[\vec{n}_0 \vec{\tau}_{\Pi 0}]| = |[\vec{n}_0 [\vec{\tau}_0 \vec{n}_{\Pi 0}]]| b = |\vec{\tau}_0 (\vec{n}_0 \vec{n}_{\Pi 0}) - \vec{n}_{\Pi 0} (\vec{n}_0 \vec{\tau}_0)| b = \\ = |\vec{\tau}| (\vec{\tau}_{p0} \vec{v}_0 \vec{n}_{\Pi 0}) b a = ab (\vec{\tau}_{p0} \vec{v}_0 \vec{n}_{\Pi 0}).$$

Знаменатель примет вид

$$(\bar{n}_0 \bar{\tau}_{p0}) = (\bar{n}_0 \bar{\tau}_0 \bar{n}_{p0}) b = (\bar{v}_0 \bar{n}_{p0}) b,$$

где $[\bar{n}_0 \bar{\tau}_0] = \bar{v}_0$.

В результате получим

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{ab(\bar{\tau}_{p0} \bar{v}_0 \bar{n}_{p0})}{b(\bar{v}_0 \bar{n}_{p0})} = a \frac{(\bar{\tau}_{p0} \bar{v}_0 \bar{n}_{p0})}{(\bar{v}_0 \bar{n}_{p0})}.$$

Множитель a найдем из выражения (3)

$$a = \frac{|\bar{n}_0|}{|[\bar{\tau}_{p0} \bar{v}_0]|} = \frac{1}{|[\bar{\tau}_{p0} \bar{v}_0]|},$$

так как $|\bar{n}_0| = 1$.

В конечном итоге будем иметь

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{(\bar{v}_0 \bar{n}_{p0} \bar{\tau}_{p0})}{(\bar{v}_0 \bar{n}_{p0}) |[\bar{v}_0 \bar{\tau}_{p0}]|}.$$

После умножения числителя и знаменателя на модули векторов-сомножителей получим

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{(\bar{v} \bar{n}_p \bar{\tau}_p) |\bar{v}|}{(\bar{v} \bar{n}_p) |[\bar{v} \bar{\tau}_p]|}. \quad (4)$$

Аналогичные результаты будем иметь и для двух других углов:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{(\bar{v} \bar{n}_3) |[\bar{v} \bar{\tau}_p]|}{(\bar{v} \bar{n}_3 \bar{\tau}_p) |\bar{v}|}; \quad (5)$$

$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{(\bar{v} \bar{\tau}_p)}{|[\bar{v} \bar{\tau}_p]|}. \quad (6)$$

Таким образом, полученные векторные соотношения (4)...(6) имеют простой вид и могут быть использованы как основа для последующих расчетов кинематических углов γ , α и λ при ротационном резании. Кроме того, выражения для углов в общем виде, представляемые через векторы \bar{v} , \bar{n}_p , \bar{n}_3 и $\bar{\tau}_p$, определяемые кинематикой (вектор скорости \bar{v}), формой и расположением поверхностей (векторы \bar{n}_p и \bar{n}_3) и режущих кромок (вектор $\bar{\tau}_p = [\bar{n}_p \bar{n}_3]$) инструмента, позволяют производить детальный геометрический анализ любых процессов резания и инструментов.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ КОМБИНИРОВАННЫМ ИНСТРУМЕНТОМ ПУТЕМ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

В Могилевском машиностроительном институте разработан комбинированный инструмент для совмещения процессов резания и поверхностного пластического деформирования (ППД), позволяющий путем адаптивного управления повысить точность обработки отверстий. Управление упругими перемещениями происходит за счет изменения направления действия усилия

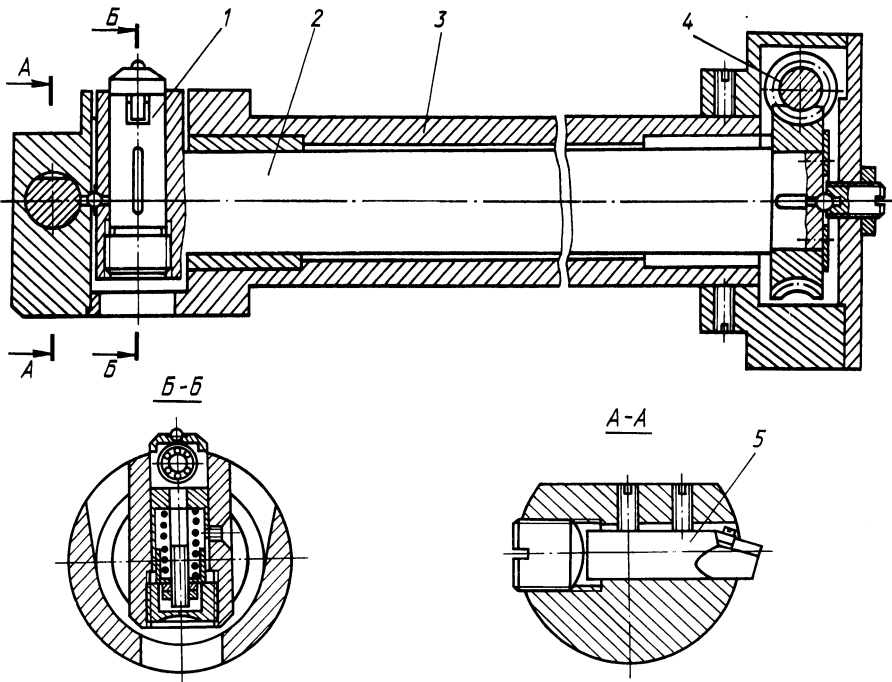


Рис. 1. Комбинированный инструмент для осуществления адаптивного управления точностью обработки

деформирования, для чего деформирующий элемент установлен с возможностью регулировки взаимного углового расположения относительно режущего элемента.

Конструкция инструмента, предназначенного для использования его на токарных станках, представлена на рис. 1. В корпусе 3, закрепленном при помощи клеммового зажима в резцедержателе, неподвижно крепится режущий элемент 5. Внутри корпуса находится оправка с деформирующим эле-

ментом 1, имеющая возможность поворота относительно корпуса 3. Для осуществления поворота имеется устройство 4, выполненное в виде червячной пары и связывающее между собой корпус 3 и оправку 2.

Точностью обработки управляют следующим образом. Информация об упругих отжатах корпуса 3 с режущим элементом 5, которые в значительной степени определяют точность обработки, фиксируется с помощью датчиков (механических, индуктивных, тензометрических и т. д.). Если под действием указанных выше причин изменится усилие резания, то изменится и упругое отжатие инструмента, что найдет свое отражение в показаниях датчиков перемещений. Для восстановления первоначальной точности обработки при помощи поворотного устройства 4 изменяют взаимное угловое расположение режущего и деформирующего элементов до тех пор, пока изменяю-

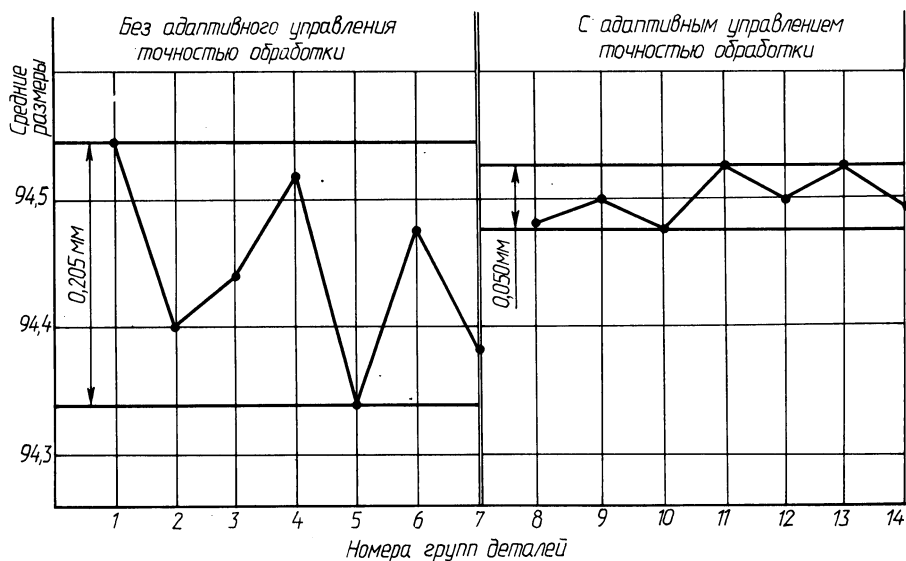


Рис. 2. Точечные диаграммы средних размеров отверстий втулок

щееся по направлению усилие деформирования не компенсирует дополнительное отжатие инструмента. При полной компенсации погрешности показания датчиков должны вернуться в первоначальное положение (нулевое).

Для сравнения точности совмещенной обработки отверстий с адаптивным управлением и без него проведен эксперимент. Были подготовлены две партии втулок по 21 шт. из материала сталь 45, причем каждая партия разбивалась на 7 групп по 3 детали. Диаметр отверстий втулок в каждой партии изменялся от $D_{\min} = 91,0$ мм до $D_{\max} = 93,5$ мм, чем имитировалась погрешность размера заготовок $\Delta D_{\text{заг}} = 2,5$ мм. Обе партии втулок обрабатывались со следующим режимом: $v = 85$ м/мин; $s = 0,11$ мм/об; $P_d = 300$ Н; глубина резания менялась от $t_{\min} = 0,5$ мм до $t_{\max} = 1,75$ мм. Обработка производилась на станке ИК625 по принципу автоматического получения размера. Первая партия втулок обрабатывалась с неизменным угловым расположением режущего и деформирующего элементов. Обработка деталей второй партии

осуществлялась с адаптивным управлением точностью, причем в качестве датчика перемещений корпуса инструмента использовался индикатор типа ИПМ с ценой деления 0,001 мм. Индикатор установлен в специальной стойке, закрепленной на каретке станка. Изменение углового расположения осуществлялось вручную.

На рис. 2 представлены точечные диаграммы средних размеров групп втулок, обработанных без управления (1...7 группы деталей) и с адаптивным управлением точностью (8...14 группы деталей). Диаграммы свидетельствуют, что в первом случае погрешность обработки составляет $\Delta D_{\text{дет.1}} = 0,205$ мм, а во втором $\Delta D_{\text{дет.2}} = 0,050$ мм, т. е. точность обработки при применении нового метода повышается более чем в четыре раза. Шероховатость поверхности в обоих случаях обеспечивалась в пределах Ra 0,50...0,40 мкм.

В ы в о д ы. 1. Разработан новый способ адаптивного управления точностью обработки за счет изменения углового положения деформирующего элемента относительно режущего и создан комбинированный инструмент для его осуществления.

2. Новый способ адаптивного управления точностью позволяет в четыре раза уменьшить погрешность обработки, и его целесообразно использовать при обработке точных отверстий с малой шероховатостью.

3. Простота конструкции и возможность ручного введения коррекции позволяют рекомендовать новый инструмент для применения на универсальных станках на предприятиях мелкосерийного и серийного типов производства.

УДК 621.784.4

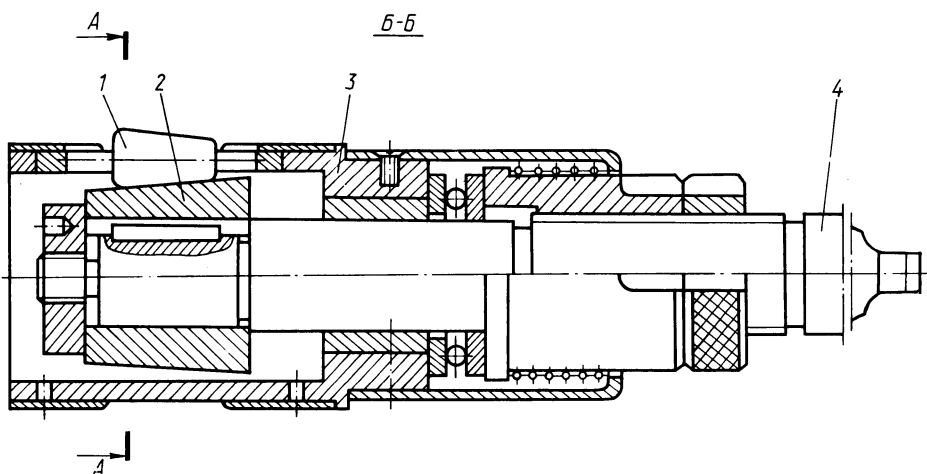
С.И.МИТКЕВИЧ, канд. техн. наук (БПИ),
И.И.ЯНКОВ, Б.И.АЛЕКСАНДРОВ,
канд. техн. наук (ИНДМАШ АН БССР)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ОТВЕРСТИЙ, ОБРАБОТАННЫХ МНОГОРОЛИКОВЫМИ РАСКАТКАМИ

Существенное влияние на надежность и долговечность машин и механизмов оказывает точность размеров деталей. С целью определения влияния неравномерного окружного расположения роликов на точность обработки деталей машин в Институте проблем надежности и долговечности машин АН БССР была спроектирована и изготовлена многороликовая раскатка диаметром 40 мм, центральные углы расположения роликов которой равнялись 50, 60, 70, 55, 60 и 65° (рис. 1).

Для сравнения технологических возможностей предложенной раскатки с возможностями раскаток, имеющих равномерное окружное расположение роликов, была произведена обработка десяти цилиндрических втулок из стали 45 длиной 120 мм. Для исключения влияния разнородности структуры металла, а также погрешностей предшествующей обработки на точность раскатывания одна и та же втулка обрабатывалась сравниваемыми инструмента-

ми с обеих сторон. Между обработанными участками сохранялась часть длины отверстия с предшествующей обработкой для контроля исходной некруглости. Раскатывание производилось на токарно-винторезном станке мод. 1К62 при режимах: частота вращения шпинделя 112 об/мин; подача инструмента 0,8 мм/об; натяг 0,15 мм.



Контроль погрешности формы раскатанных отверстий осуществлялся на кругломере "Talyrond-100". На рис. 2 в качестве примера приведены круглограммы измерений. Некруглость отверстий, обработанных раскаткой с равномерным окружным расположением роликов, составляла от 35 до 80 мкм, т.е. была меньше исходной. Некруглость таких же отверстий, раскатанных инструментом с неравномерным окружным расположением роликов, была всего лишь 3–15 мкм.

Точность цилиндрической формы отверстия, обработанного многороликовой раскаткой с равномерным окружным расположением роликов, находится в прямой зависимости от точности подготовленного под раскатывание отверстия. Наличие некруглости цилиндрической поверхности заготовки, а также неконцентричность вращения (биение) инструмента, неравномерная жесткость системы СПИД в направлении, нормальном к оси, остаточные напряжения от предшествующей обработки, неравномерная твердость обрабатываемого материала и другие факторы приводят к колебаниям нагрузки на

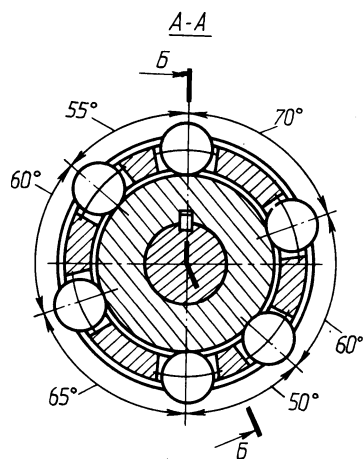
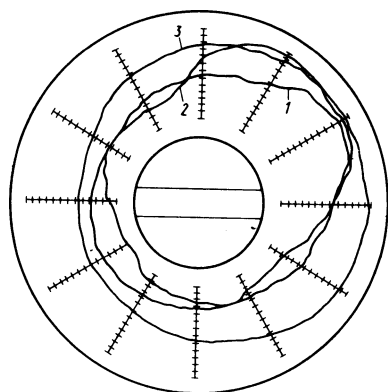


Рис. 1. Многороликовая раскатка:
1 — рабочий ролик; 2 — опорный ко-
нус; 3 — сепаратор; 4 — оправка

деформирующие ролики, а это в свою очередь — к радиальному смещению оси инструмента и одностороннему кратковременному внедрению роликов в обрабатываемый материал. В результате этого цилиндрическая поверхность отверстия принимает не круглую форму, а с отклонениями в виде выступов на одной половине цилиндра и углублений на противоположной. При дальнейшей обработке инструмент с равномерно расположенными в окружном направлении роликами уже не может исправить полученную форму поверхности цилиндра. Это объясняется тем, что ролики не могут деформировать выступы из-за имеющихся впадин на диаметрально противоположной стороне



отверстия и податливости системы СПИД. При этом происходит смещение раскатки в сторону меньшего сопротивления (в сторону образованных впадин на поверхности отверстия). Указанный цикл повторяется для каждой пары диаметрально расположенных роликов.

Рис. 2. Круглограммы:

1 — исходного отверстия; 2 — отверстия, раскатанного инструментом с равномерным окружным расположением роликов; 3 — отверстия, раскатанного инструментом с неравномерным расположением роликов

В случае неравномерного окружного расположения деформирующих элементов согласованное внедрение одних роликов во впадины и в это же время копирование формы выступов другими роликами нарушается, т. е. позиция роликов относительно неровностей поверхности детали не повторяется. Отрицательная погрешность (впадины) воспроизводит положительную погрешность (выступы) не в одних и тех же местах цилиндра, а в разных, соответствующих расположению роликов. В свою очередь имеющиеся выступы каждый раз воспроизводят впадины все в новых местах поверхности.

Получаемые в процессе обработки выступы и впадины не могут совпасть из-за неравенства и некратности центральных углов между деформирующими роликами. При этом количество радиальных отклонений оси раскатки за один ее оборот значительно увеличивается, а величина их сильно убывает, в результате чего обработанное отверстие получает правильную геометрическую форму.

На основании изложенного можно заключить, что обработка деталей инструментом с неравномерным окружным расположением деформирующих элементов существенно повышает их точность и может быть рекомендована для применения в производстве.

ВОЗМОЖНОСТЬ ГОЛОГРАФИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ И ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

В практике современного оптического производства основным и наиболее точным способом измерения кривизны сферических и плоских поверхностей является интерференционный способ. Измерение осуществляется пробными стеклами диаметром до 130 мм. Они бывают трех типов: ОПС — основные пробные стекла (называемые часто эталонами) для проверки поверхностей контрольных пробных стекол; КПС — контрольные пробные стекла для проверки поверхностей рабочих пробных стекол; РПС — рабочие пробные стекла для проверки поверхностей деталей. Отклонение кривизны или плоскостности обработанной поверхности от заданной чертежом проверяется наложением РПС на деталь. Между поверхностями детали и РПС возникает интерференционная картина, характер которой показывает величину и вид отклонения детали и зависит от толщины воздушного зазора между поверхностями. Интерференционную картину называют цветом. При наложении плоского РПС на точную плоскую деталь между поверхностями образуется воздушный клин и цвет в виде параллельных полос. Расстояние между полосами одного цвета тем больше, чем меньше клин (обычно принимается красный цвет). При отставивании РПС или легком нажиме на него слой воздуха выравнивается и полосы, расширяясь, переходят в однотонную окраску. При наименьшем отклонении поверхности детали от плоскости возникает соломенно-желтый цвет. Количественная оценка отклонения радиуса кривизны детали от радиуса кривизны РПС производится визуально по числу колец.

Описанный метод занимает промежуточное место между контактными и бесконтактными методами контроля.

Более точным является контроль с помощью интерферометров различных конструкций. Но эти методы применяют, в основном, в лабораторных условиях.

Чистоту поверхности оптических деталей проверяют визуально, и количественная оценка практически не дается.

Автоматизированное производство требует применения более совершенных методов, обеспечивающих объективные количественные оценки измеряемых параметров.

Методы голографической интерферометрии можно считать наиболее перспективными при решении задач контроля точных и, в частности, оптических деталей в автоматизированном производстве. Общий принцип, лежащий в основе голографических методов измерения параметров рельефа поверхности, заключается в том, что трехмерный рельеф представляется в виде плоского изображения, являющегося топографической картой объекта. Линии на этой карте, называемые линиями равного уровня, являются следами пересечения поверхности детали параллельными плоскостями с постоянным шагом. Точность голографических методов весьма велика и ограничивается длиной вол-

ны света применяемого источника излучения (например, длина волны гелий-неонового лазера $\lambda = 0,634$ мкм) . При исследовании рельефа решается задача поиска отклонения поверхности реального объекта от некоторой поверхности сравнения (опорной поверхности) . В качестве опорной поверхности целесообразно использовать плоскость.

Следует отметить, что в качестве опорной поверхности возможно использование искусственной голограммы. Процесс сравнения осуществим как в реальном времени, так и с использованием метода двойной экспозиции. Недостатком этих методов является необходимость изготовления эталонной опорной поверхности либо ее заменителя. В условиях большой номенклатуры обрабатываемых деталей не представляется возможным создание универсальных измерительных приборов. Определенному количеству контролируемых деталей должно соответствовать такое же количество эталонов. То есть возникает потребность создания банка эталонных опорных поверхностей. Кроме того, эффективна регистрация только малых отклонений.

Наиболее перспективным является метод получения голографических топограмм. Он имеет несколько разновидностей: метод двух источников, иммерсионный, двухдлинноволновой, метод „светового ножа“.

Метод двух источников состоит в регистрации двухэкспозиционной интерферограммы объекта. Причем за время между экспозициями освещающий плоский фронт разворачивается на угол α . Восстановленное изображение объекта сетется системой интерференционных плоскостей, нормальных к освещающему волновому фронту. Шаг секущих плоскостей определяется по формуле

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin (\alpha / 2)},$$

где λ – длина освещающей волны.

Недостатком метода является невозможность применения его для измерения объектов с выемками на поверхности. Кроме того, контролируется та часть детали, которая открыта с направлений освещения и регистрации.

Иммерсионный метод состоит в регистрации двухэкспозиционной интерферограммы объекта, помещенного в кювету с плоским прозрачным окном, причем показатель преломления среды, заполняющей кювету, за время между экспозициями изменяется на величину Δn . Восстановленное изображение так же, как и в методе двух источников, сетется системой интерференционных плоскостей с шагом $\lambda / 2 \Delta n$, т. е. шаг секущих плоскостей зависит от разницы показателя преломления Δn иммерсионных сред.

Двухдлинноволновой метод заключается в регистрации интерферограммы при освещении на двух длинах волн λ_1 и λ_2 , а восстановление осуществляется на одной длине волны. Шаг секущих плоскостей в этом методе определяется по формуле $d = \lambda_1 \lambda_2 / 2 (\lambda_1 - \lambda_2)$.

Метод „светового ножа“ является простейшим. Он состоит в том, что контролируемое изделие, установленное в затемненном помещении, освещается при последовательном перемещении параллельным пучком света через узкую щель. Возможности метода ограничены малым разрешением, так как дифракция не позволяет использовать для создания светового ножа щели малой ширины. Поэтому возможности этого метода весьма ограничены.

Методы получения топограмм сравнительно легко автоматизируются. О погрешностях формы можно судить по искривлению интерференциальных линий и расстоянию между ними. Определив степень искривления в области значений погрешности формы и шероховатости (чистоты оптических деталей), можно получать количественные оценки точности и шероховатости (применяя фильтры и счетно-решающие устройства). В качестве счетно-решающих устройств целесообразно использовать управляющие ЭВМ автоматической системы механической обработки либо автономные микрокомпьютеры.

На основании изложенного можно сделать выводы, что автоматизация контроля прецизионных деталей решается путем применения голографических методов, обладающих высокой точностью и надежностью измерения и быстродействием. При этом наряду с количественной оценкой погрешностей достигается наглядность представления полученных результатов измерения.

УДК 621.91

В.И.ХОДЫРЕВ, канд. техн. наук,
В.А.МОЛОЧКОВ (ММИ)

ПОГРЕШНОСТИ ФОРМЫ И ВЗАИМНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ВИНТОВЫМ РОТАЦИОННЫМ РЕЗЦОМ

Настоящие исследования, проведенные на основе имитационного моделирования процесса формообразования при обработке винтовыми ротационными резцами (ВРР), показывают, что в зависимости от соотношения K_n частот вращения резца и детали наибольшие отклонения профиля обработанной поверхности могут относиться к шероховатости, волнистости или погрешностям формы. Для условий рис. 1 при $K_n = 1,08...1,32$ образуется шероховатость, при $K_n = 1,0$ — погрешности формы, а в остальных случаях — волнистость. Вид отклонений определялся по отношению среднего шага неровностей S_m к их высоте R_{max} . Очевидно, что если соотношение K_n выражается целым числом, то профиль поверхности в осевом сечении идентичен по форме и шагу к поверхности, обработанной ротационным резцом с круговой кромкой. Однако при этом появляются погрешности в виде отклонений от соосности обработанной поверхности, овальности или огранки с числом граней, равным произведению соотношения K_n на число заходов режущей кромки i (рис. 2). Огранка образуется и при некоторых других значениях K_n , но ее размер при этом незначителен.

В табл. 1 приведены значения суммарных отклонений формы и расположения поверхности при обработке двухзаходным ВРР (диаметр детали 65 мм, диаметр резца 40 мм, шаг режущей кромки 6 мм, угол наклона оси резца 25°).

Причиной появления тех или иных погрешностей в процессе формообразования при обработке ВРР является смещение формообразующих участков режущих кромок от плоскости подачи, которое приводит к увеличению расстояния между вершиной режущей кромки и осью вращения детали. Степень

но в действительности этого явления на погрешности определяется относительным положением формообразующих участков на смежных оборотах детали, которое главным образом зависит от соотношения K_n . Степень непосредственного влияния прочих факторов значительно меньше. Косвенное воздействие факторов на процесс формообразования определяется их влиянием на соотношение K_n .

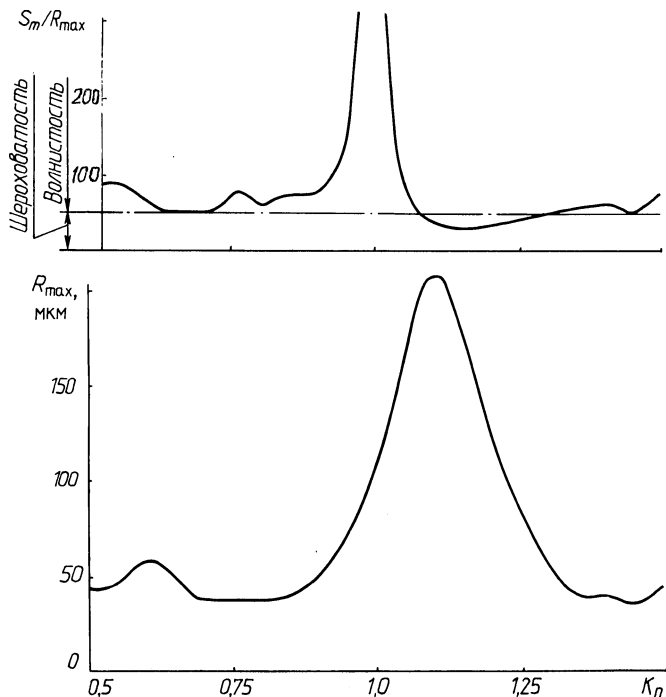


Рис. 1. Наибольшие отклонения профиля поверхности, обработанной однозаходным ВРР (шаг режущей кромки — 6 мм, направление — правое, диаметр режущей части — 40 мм, угол наклона оси реза — 25° , диаметр детали — 65 мм, подача — 0,78 мм/об)

Результаты имитационного моделирования процесса формообразования показывают, что оптимальным, с этой точки зрения, условиям соответствуют вполне определенные области соотношений K_n . С изменением конкретных условий может измениться в некоторых пределах как величина этих областей, так и размер соответствующих им погрешностей формообразования, но положение областей оптимума остается при этом неизменным. Наиболее целесообразным представляется оптимизация процесса по критерию минимума суммарных погрешностей формообразования. По этому критерию соотношения K_n , близкие к целым числам, не могут быть признаны оптимальными. Например, для условий рис. 1 областям оптимума соответствуют соотношения $K_n = 0,7...0,85$ и $K_n = 1,35...1,45$. Если же допустимо отклонение от соосности, то оптимальными являются соотношения $K_n = 1,0$ или $K_n = 0,5$, соответству-

ющие минимуму наибольшей высоты неровностей профиля в осевом сечении. В зависимости от конкретных требований и технологических условий критерий оптимальности может изменяться.

Величина расчетных погрешностей формообразования может быть значительно уменьшена не только посредством оптимального выбора условий обработки. Действие явления смещения формообразующих витков на появление погрешностей может быть нейтрализовано соответствующим уменьше-

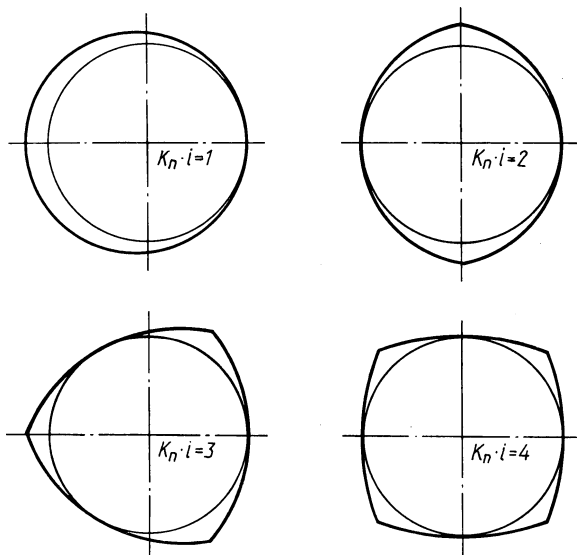


Рис. 2. Круглограммы деталей, обработанных ВРР

Т а б л и ц а 1

Соотношение K_n	Радиальное биение, мм		Вид отклонений от круглости	Число граней
	правый ВРР	левый ВРР		
0,5	0,106	0,098	—	—
0,6	0,004	0,004	огранка	6
0,625	0,007	0,006	"	5
0,7	0,004	0,004	"	7
0,75	0,027	0,025	"	3
0,8	0,003	0,003	"	16
0,875	0,007	0,006	"	7
0,9	0,004	0,004	"	9
1,0	0,106	0,098	овальность	—
1,1	0,004	0,004	огранка	11
1,125	0,007	0,006	огранка	9
1,2	0,004	0,004	"	12
1,25	0,027	0,025	"	5
1,3	0,004	0,004	"	11
1,375	0,007	0,006	"	11
1,4	0,004	0,004	"	14

ем расстояния между осями детали и резца. С этой целью инструменту сообщают дополнительное возвратно-поступательное перемещение в радиальном направлении, кинематически связанное с вращением его режущей части, так что колебательное перемещение инструмента и периодическое изменение расстояния его режущей кромки от оси вращения детали имеют одинаковую частоту и амплитуду, но находятся в противоположных фазах.

Для резца с однозаходней режущей кромкой указанный технологический прием реализован путем размещения между осью режущей части и подшипниками двух эксцентриковых втулок, вставленных одна в другую. Величина необходимого эксцентриситета устанавливается путем разворота втулок относительно друг друга. Регулировка сдвига фаз колебательного движения режущей части и периодического изменения расстояния от оси детали до формообразующей режущей кромки осуществляется путем поворота блока втулок относительно режущей части. Эксцентриситет зависит от возможной величины погрешностей формообразования, которая определяется моделированием. Приблизительно эксцентриситет e может быть вычислен по формуле

$$2e = R + \frac{(h \cos \epsilon)^2}{4R} - \sqrt{R^2 + \left(\frac{h \cos \epsilon}{2}\right)^2},$$

где h — шаг режущей кромки; ϵ — угол наклона оси резца; R — радиус обработанной поверхности.

С другой стороны, особенность формообразования при обработке ВРР, состоящая в том, что при некоторых условиях образуются отклонения от круглости в виде овальности или огранки, может быть использована при обработке некруглых в поперечном сечении тел с прямолинейными и винтовыми образующими. Для получения многогранной поверхности с прямолинейными образующими необходимо принять $K_n = k/i$, где k — целое число, равное числу граней. Для некруглой поверхности с винтовыми образующими необходимо, чтобы за один оборот детали режущая кромка несколько не доходила до исходного положения или проходила его. В этом случае соотношение K_n определяется из выражения

$$K_n = \left(1 \pm \frac{s \operatorname{tg} \omega}{2\pi R}\right) \frac{k}{i},$$

где s — подача на оборот; ω — угол винтовых образующих, правое или левое направление которых соответствует его положительному или отрицательному значению.

В этой формуле знак “+” соответствует резцу с правыми режущими кромками, “—” — с левыми.

Шаг винтовой режущей кромки определяется высотой профиля детали Δ

$$h = \frac{2\sqrt{(\Delta + R)^2 - R^2}}{\cos \epsilon}.$$

Г.М.ЖДАНОВИЧ, д-р техн. наук,
И.П.МОЛОСАЕВ, канд. техн. наук,
Ч.А.ЯКУБОВСКИЙ, канд. техн. наук (БПИ)

ПРЕСС-ФОРМА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ БОКОВОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ ПРЕССОВАНИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ

При прессовании изделий из металлических порошков в жестких пресс-формах частицы порошка находятся в условиях неравномерного объемного сжатия. Знание значения бокового давления и характера его распределения по высоте прессовки необходимо для определения затрат давления на преодоление внешнего трения, а также для установления закономерностей изменения плотности брикетов при прессовании. Кроме того, это чрезвычайно важно для обоснованного расчета и конструирования пресс-форм.

Исследования проводились с применением различных методик: метода замера отпечатка стального шарика, противодействия, фотоупругости, точечных месдоз, по деформации стенок пресс-формы и др.

Наиболее надежным, по нашему мнению, является метод, основанный на использовании точечных месдоз. Он позволяет непосредственно определять значение и характер изменения бокового давления по высоте прессовки. Измерения проводились с помощью специальной пресс-формы (рис. 1).

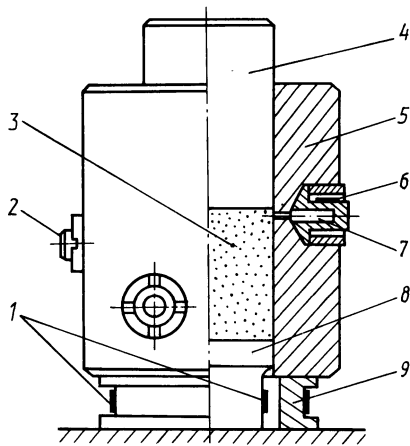


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной пресс-формы:
1, 6 — тензодатчики; 2, 7 — точечные месдозы; 3 — прессуемый порошок; 4 — верхний пуансон; 5 — матрица; 8 — нижний пуансон; 9 — кольцо

Матрица 5 (наружный диаметр 180 мм, внутренний диаметр 50 мм, высота — 220 мм) и верхний пуансон 4 пресс-формы изготовлены из стали ХВГ с последующей закалкой до твердости HRC₃ 60..62.

В боковой поверхности матрицы по винтовой линии установлены семь точечных месдоз 2 для измерения бокового давления. Месдозы расположены на расстоянии 8 мм (по высоте) друг от друга, и каждая последующая месдоза повернута по отношению к предыдущей на 60°. Внутренняя поверхность матрицы шлифовалась в сборе с измерительными штифтами месдоз, которые были изготовлены из стали У8А и подвергнуты термообработке до HRC₃ 58...

60. Для одновременной фиксации семи точек деформации в экспериментах применялись две тензостанции ТА-5 и три быстродействующих самопишущих прибора Н-327.3, осуществляющие запись усиленных сигналов тензодатчиков. Применялись тензоэлементы со следующими характеристиками: база — 20 мм, сопротивление — 100,5 Ом.

Для повышения точности результатов измерения условия нагружения месдозы при тарировке максимально приближались к условиям ее работы в процессе эксперимента. Для этого тарировку месдоз производили в специальном устройстве через тонкий слой исследуемого порошка.

В процессе опытов прессовали железный порошок марки ПЖ2М2 с насыпной массой $\gamma_0 = 2,26 \text{ г/см}^3$ и никелевый порошок ($\gamma_0 = 3,74 \text{ г/см}^3$). Стенки матрицы перед засыпкой порошка смазывались машинным маслом. Выполнялись две серии опытов: при давлении прессования $P_0 = 200 \text{ МПа}$ и $P_0 = 500 \text{ МПа}$. При этом путем подбора соответствующей массы порошка регулировалась высота спрессованного брикета во всех опытах (в пределах $h = 50 \text{ мм}$).

После расшифровки и обработки кривых, записанных на миллиметровой рулонной бумаге на приборе Н-327-3, были получены численные значения бокового давления в различных точках по высоте брикетов.

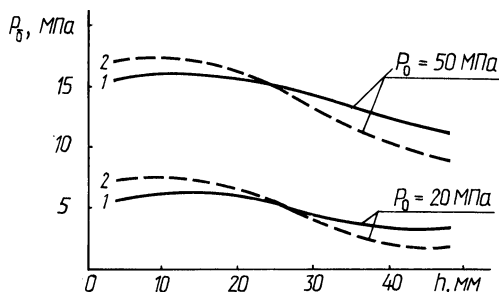


Рис. 2. Распределение бокового давления по высоте прессовок, $d = 50 \text{ мм}$; $h = 50 \text{ мм}$:
1 — железный порошок ПЖ2М2, $\gamma_0 = 2,26 \text{ г/см}^3$;
2 — порошок никелевый, $\gamma_0 = 3,74 \text{ г/см}^3$

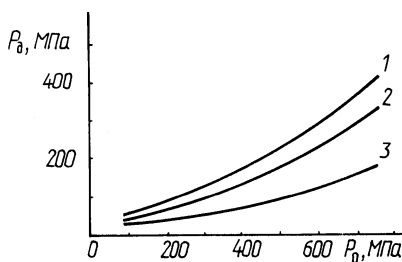


Рис. 3. Зависимость давления на дно пресс-формы от давления прессования (ПЖ2М2):
1 — смазка стенок пресс-формы олеиновой кислотой; 2 — смазка — машинное масло; 3 — прессование без смазки

На рис. 2 приведены кривые, полученные в результате выполненных экспериментов.

Нами определялись также на данной пресс-форме потери давления прессования на преодоление сил внешнего трения. Для этой цели на нижний пуансон наклеивались тензодатчики, и пуансон подвергался тарировке непосредственным нагружением на тарировочном прессе. Давление на верхнем пуансоне находилось по известному усилию прессования, регистрируемому на шкале пресса.

При этом значение сил внешнего трения определялось по формуле:

$$F_{\text{тр}} = (P_0 - P_{\text{д}}) S_{\text{н}},$$

где P_0 , $P_{\text{д}}$ — давление прессования и давление на дно пресс-формы соответственно; $S_{\text{н}}$ — номинальная площадь поперечного сечения прессовки.

На рис. 3 приведена зависимость давления на дно пресс-формы от давления прессования при различных смазках стенок пресс-формы.

Проведенные опыты показали (см. рис. 3), что давление на дно пресс-формы с увеличением давления прессования возрастает несколько быстрее, чем по прямой пропорциональной зависимости. Это объясняется тем, что с увеличением P_0 уменьшается высота брикета, а следовательно, и активная поверхность трения.

В ы в о д ы. 1. Спроектирована и изготовлена экспериментальная пресс-форма, в боковую стенку которой вмонтированы семь точечных месдоз. Это дает возможность получить достаточно точную картину распределения бокового давления по высоте прессовки.

2. Тарировка месдоз производилась в специальном приспособлении через тонкий слой исследуемого порошка, что максимально приближает условия нагружения месдозы при тарировке и в процессе эксперимента.

УДК 621.921

А.С.МУРАХВЕР, канд. техн. наук (ГПИ)

РЕСТАВРАЦИЯ ПРОКЛАДОЧНЫХ СТАЛЬНЫХ ЛИСТОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ПЛАСТИКА

Одним из факторов, сдерживающих расширение производства пластика, является нехватка используемых в технологическом процессе крупногабаритных прокладочных листов площадью до $4,5 \text{ м}^2$ из нержавеющей стали марок X18H10T или 2X18H9 (HRC₃ 36,5...56,5), отполированных с одной стороны.

После изготовления определенного количества пластика прокладочные листы списываются, так как их полированная поверхность срабатывается. В связи с этим появляется необходимость восстановления полированной поверхности прокладочных листов с целью их повторного использования.

Отечественная станкостроительная промышленность пока не выпускает для обработки плоских поверхностей доводочные станки больших размеров. С учетом опыта, накопленного в промышленности, на Гомельском заводе торгового оборудования был модернизирован специальный станок широколенточного шлифования МШ-237, который не был внедрен в производство из-за имеющихся дефектов в конструкции (частого разрыва абразивной ленты из-за ее „сбега“ с приводного барабана в процессе шлифования, отсутствия синхронной осцилляции приводного и натяжного барабанов). Взамен приводного барабана установлен шлифовально-полировочный вал с нанесенным на его поверхность абразивным порошком.

Вал представляет собой набор стальных шайб толщиной 1 мм, установленных через каждые 300 мм. Между шайбами находится прослойка из тканевых и картонных колец, что обеспечивает макро- и микроэластичность по всей длине вала.

Целью исследования было определение влияния частоты вращения шлифовально-полировочного вала на величину съема металла и микрометрические характеристики обработанной поверхности.

В эксперименте обрабатывались прокладочные листы размером 1000 x 1000 x 2 мм, Ra - 2,5 мкм, имеющие на поверхности царапины глубиной до 100 мкм. Режимы и условия обработки всех прокладочных листов были одинаковыми (варьировалась лишь частота вращения шлифовально-полировочного вала). Скорость возвратно-поступательного перемещения стола с обрабатываемым листом составляла 0,9 м/с, время обработки 90 с. СОЖ не использовалась.

Кроме вращательного движения шлифовально-полировочному валу сообщалась осевая осцилляция с амплитудой 20 мм и частотой 2 Гц. Прокладочные листы крепились на натянутой ленте (постели) станка. Необходимое постоянное усилие прижатия листа к шлифовально-полировочному валу обеспечивалось специальным контактным валом.

При каждом значении выбранной частоты вращения вала обрабатывались 3–5 листов. После обработки исследовались микрогеометрические характеристики поверхностей с помощью профилограмм, полученных на профилографе-профилометре завода „Калибр“, мод. 201. Съем металла определялся косвенно по изменению глубины контрольной риски, нанесенной на образец.

Из анализа полученных результатов видно, что обработка одним и тем же шлифовально-полировочным валом при различных частотах вращения дает различные результаты. Так, при частоте вращения вала до 15...20 об/с резко увеличивается шероховатость, уменьшение частоты вращения вала до 3...4 об/с обеспечивает уменьшение этого показателя по параметру Ra в 2,5 раза, увеличение радиуса закругления вершин микропрофиля в 5 раз, уменьшение среднего угла наклона сторон профиля в 3 раза.

Различия в микропрофиле поверхности наглядно видны из профилограмм поверхностей, обработанных при различных частотах вращения вала. С увеличением частоты выступы и впадины микропрофиля становятся более остроконечными по сравнению с микропрофилем, полученным при обработке с малой частотой вращения. Это объясняется тем, что с увеличением частоты вращения вала растут центробежные силы и увеличивается жесткость основания вала. При этом увеличивается глубина внедрения абразивных зерен, что вызывает увеличение шероховатости обработанной поверхности.

Уменьшение частоты вращения вала делает его основание более эластичным. При этом в процессе обработки абразивные зерна нивелируются, что способствует выравниванию нагрузки на них и уменьшению глубины их внедрения в обрабатываемую поверхность.

На основании экспериментальных данных предложено проводить черновое шлифование с частотой вращения шлифовально-полировочного вала 12...15 об/с, чистовую обработку следует вести с частотой вращения вала 5...25 м/с.

Проведенные исследования показали целесообразность замены приводного барабана в специальном станке МШ-237 шлифовально-полировочным валом. Это дает возможность реставрировать используемые в производстве пластика стальные прокладочные листы.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РОТАЦИОННОГО РАСТОЧНОГО ИНСТРУМЕНТА НА ЕГО СИЛОВУЮ НАПРЯЖЕННОСТЬ

При ротационной лезвийной обработке материалов разложение суммарной силы резания на ее составляющие P_x , P_y , P_z еще не дает возможности судить о силовой напряженности, возникающей на режущей части и в подшипниковом узле инструмента.

Для исследования этого вопроса нами при растачивании заготовок из специальной стали (ГОСТ 10791–64, НВ 2480) ротационный резец устанавливался своей вершиной на уровне центров станка по прямой схеме резания второй геометрической схемы установки [1] под двумя углами β_y и φ_y соответственно в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Материал режущей части резца — твердый сплав Т15К6.

Если в одной системе координат с началом в вершине В резца оси направить по оси заготовки, по перпендикуляру к обрабатываемой поверхности и по перпендикуляру к плоскости подачи, а в другой системе координат с тем же началом оси соответственно расположить в радиальном, осевом и касательном к режущему лезвию направлениях, то можно написать матрицу перехода от одной системы координат к другой:

$$A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}$$

где $a_{11} = \cos \varphi_y \sin \psi_B - \sin \varphi_y \sin \beta_y \cos \psi_B$;

$$a_{12} = \sin \varphi_y \sin \psi_B + \cos \varphi_y \sin \beta_y \cos \psi_B; \quad a_{13} = \cos \beta_y \cos \psi_B;$$

$$a_{21} = -\sin \varphi_y \cos \beta_y; \quad a_{22} = \cos \varphi_y \cos \beta_y; \quad a_{23} = -\sin \beta_y;$$

$$a_{31} = \cos \varphi_y \cos \psi_B + \sin \varphi_y \sin \beta_y \sin \psi_B;$$

$$a_{32} = \sin \varphi_y \cos \psi_B - \cos \varphi_y \sin \beta_y \sin \psi_B; \quad a_{33} = \cos \beta_y \sin \psi_B.$$

С помощью матрицы A выведем уравнения радиальной P_p , осевой P_o и касательной P_k составляющих силы резания.

$$P_p = (-P_x \sin \varphi_y \sin \beta_y + P_y \cos \varphi_y \sin \beta_y + P_z \cos \beta_y) \cos \psi_B + \\ + (P_x \cos \varphi_y + P_y \sin \varphi_y) \sin \psi_B;$$

$$P_o = -P_x \sin \varphi_y \cos \beta_y + P_y \cos \varphi_y \cos \beta_y - P_z \sin \beta_y;$$

$$P_k = (-P_x \sin \varphi_y \sin \beta_y + P_y \cos \varphi_y \sin \beta_y + P_z \cos \beta_y) \sin \psi_B - \\ - (P_x \cos \varphi_y + P_y \sin \varphi_y) \cos \psi_B.$$

Составляющие силы резания P_x , P_y , P_z определяются из выражений, полученных методом ортогонального композиционного планирования эксперимента:

$$P_x = -143,32 - 0,245v + 116,732s + 117,326t + 5,223\varphi_y + 1,893\beta_y - \\ - 0,0175\varphi_y\beta_y - 0,341\beta_y t - 64,2s^2 - 0,022\varphi_y^2 - 0,058\beta_y^2 - 7,625t^2;$$

$$P_y = -47,82 - 10,38v + 161,11s + 33,89t + 1,668\varphi_y - 1,913\beta_y + 1,5vs +$$

$$\begin{aligned}
 & + 7,2v \cdot t - 0,211s \cdot \varphi_Y - 0,178s \cdot \beta_Y - 38,1s \cdot t + 0,03\varphi_Y \beta_Y + 0,74\beta_Y t + \\
 & + 0,72v^2 - 37,48s^2 + 0,033\varphi_Y^2 + 0,046\beta_Y^2 + 86,85t^2; \\
 P_Z = & -50,89 + 5,088v + 37,025s + 84,047t + 1,015\varphi_Y + 2,365\beta_Y + \\
 & + 1,608v \cdot s - 0,294v \cdot \varphi_Y + 2,94v \cdot t + 0,24s \cdot \varphi_Y + 0,497s \cdot \beta_Y + 11,719s \cdot t - \\
 & - 2,019\varphi_Y t - 1,364\beta_Y t - 24,244s^2 + 86,45t^2.
 \end{aligned}$$

В этих выражениях v измеряется в м/с, s — в мм/об, t — в мм, φ_Y и β_Y — в градусах.

Значение угла ψ_B вершины резца определяется по формуле [2]:

$$\psi_B = \arctg \frac{\operatorname{tg} \varphi_Y}{\sin \beta_Y}.$$

Исследования проводились в следующих диапазонах углов установки резца относительно обрабатываемой поверхности и режимов резания: $\varphi_Y = 16 \dots 36^\circ$, $\beta_Y = 12,5 \dots 30^\circ$, $v = 0,83 \dots 6,1$ м/с, $s = 0,18 \dots 1,18$ мм/об, $t = 0,2 \dots 0,8$ мм. Анализ экспериментальных данных показывает, что в исследуемых диапазонах соблюдается соотношение $P_p > P_o > P_k$. При увеличении углов φ_Y и β_Y осевая P_o и касательная P_k составляющие монотонно уменьшаются, а радиальная P_p — растет. Причем минимальные значения осевой P_o и касательной P_k составляющих достигаются при сочетании углов $\varphi_Y = 36^\circ$ и $\beta_Y = 30^\circ$, а минимальное значение радиальной P_p составляющей — при $\varphi_Y = 16^\circ$ и $\beta_Y = 12,5^\circ$.

Известно [3], что на повышение точности ротационной обработки увеличение радиальной жесткости резца влияет в большей степени, чем осевой. Это следует учитывать при проектировании ротационного расточного инструмента и его оснастки.

Изменение скорости резания v вызывает незначительное изменение сил, с ростом же глубины t они резко возрастают, причем зависимость $P_p = f(t)$ носит ярко выраженный экстремальный характер. Увеличение подачи s также влечет значительное повышение осевой и радиальной сил, а на касательную силу оно практически не влияет. Следует отметить, что во всех случаях радиальная сила является величиной наибольшей.

С точки зрения повышения производительности обработки необходимо применять форсированные режимы резания. Однако при увеличении подачи повышается шероховатость обработанной поверхности. Поэтому для ее снижения следует уменьшать установочный угол φ_Y .

Таким образом, повышение точности и качества обработки при форсированных ее режимах может быть достигнуто путем снижения установочных углов φ_Y и β_Y расточного ротационного инструмента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коновалов Е.Г., Сидоренко В.А., Соусь А.В. Прогрессивные схемы ротационного резания металлов. — Минск, 1972, с. 24.
2. Коновалов Е.Г., Гик Л.А. Резание круглыми ротационными резцами. — Минск, 1969, с. 6.
3. Ящерицын П.И., Сидоренко В.А., Макаревич Г.П. О размерной точности при ротационной обработке. — Докл. АН БССР, 1979, т. 23, № 9, с. 814.

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ТОЧНОСТИ ХОНИНГОВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ

Целью данной работы является исследование влияния высокочастотных радиальных колебаний в зоне контакта хонинговальных брусков с обрабатываемой поверхностью на производительность процесса и точность формы обработанного отверстия.

Для этого сравнивались результаты обычного хонингования и хонингования с наложением высокочастотных колебаний в зоне резания.

В эксперименте обрабатывались втулки (2 партии по 20 шт.) с внутренним диаметром 65 мм, длиной 100 мм из СЧ21 ($HRC_3 \leq 41,5$).

Для получения достоверных данных режимы и условия хонингования были одинаковыми: $v_{вр} = 1,3$ м/с, $v_{вп} = 0,25$ м/с, удельное давление 1,2 МПа; охлаждающая жидкость — керосин. Время хонингования каждой втулки равнялось 90 с.

В качестве инструмента применялась четырехбрусковая плавающая хонинговальная головка с брусками АСВ 63/50, М1, 50%. Втулки зажимались по наружному диаметру эластичной диафрагмой двухпозиционного приспособления.

При обработке одной из партий дополнительно применялся вибратор [1], подвижный элемент которого (шарик) под давлением воздуха от пневмосети ($P = 0,5$ МПа) вращался по кольцевой направляющей вокруг оси обрабатываемого отверстия. При этом в каждой точке зоны резания возбуждались радиальные колебания, частота которых соответствовала частоте вращения шарика по кольцевой направляющей.

Показатель некруглости определялся как среднее арифметическое разностей замеров отверстия в двух плоскостях и трех сечениях.

Исправляющая способность хонингования (конусность, бочкообразность, седловидность) определялась комплексным показателем ψ , равным отношению разности суммарных погрешностей до и после хонингования к суммарной погрешности после хонингования. Производительность процесса определялась по каждой втулке путем замера, износ брусков — их взвешиванием до и после хонингования партии. Результаты экспериментов приведены в табл. 1.

Т а б л. 1

Результаты сравнительных испытаний методов хонингования

Измеряемый параметр	До хонингования	Обычное хонингование	Хонингование с радиальными колебаниями
Некруглость, мм	0,012	0,009	0,006
Конусность, бочкообразность, седловидность, мм	0,025	0,018	0,011
Съем металла, мкм/с	—	0,0015	0,0025
Износ алмазных брусков, г	—	0,55	0,21

Как видно из таблицы, возбуждение колебаний в зоне резания при хонинговании приводит к улучшению некруглости (овальности) в 1,5 раза; конусности, бочкообразности и седловидности — в 1,63 раза; увеличению съема металла — в 1,6; уменьшению износа алмазных брусков — в 2,5 раза.

Интересно отметить резкое увеличение стойкости алмазных брусков, что практически не наблюдается при других методах виброхонингования. Это является косвенным подтверждением снижения сил трения шлама по поверхностям связки и зерен хонинговальных брусков при возбуждении радиальных колебаний в зоне резания.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. с. 396256 (СССР) . Приспособление для хонингования отверстий / А.С.Мураховер. — Оpubл. в Б. И., 1975, № 36.

УДК 007.52

Г.С.СВИДЕРСКИЙ, Г.И.ХУТСКИЙ, д-р
техн. наук, Р.В.НОВИЧИХИН (БПИ)

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МНОГОЦЕЛЕВЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Автоматизация производственных процессов с широкой номенклатурой выпускаемых изделий, быстрой их сменяемостью невозможна без использования переналаживаемых автоматов, промышленных роботов (ПР). Последние позволяют автоматизировать вспомогательные и основные технологические операции, обеспечить работу оборудования в автоматическом режиме без участия человека. Они выполняют такие вспомогательные операции, как загрузка заготовок и снятие готовых изделий на станке, укладка, упаковка, пакетирование, сортировка и пр. При установке инструмента на рабочем органе ПР может выполнять также и основные технологические операции (сверление отверстий, сварка, нанесение лакокрасочных покрытий, снятие заусениц, сборка изделий и т. д.).

Широкое внедрение ПР в промышленность сдерживается тем, что большинство из них работает, в основном, по жесткому алгоритму и не учитывает изменений окружающей среды. Для работы таких ПР необходимо, чтобы объект манипулирования находился в определенном месте рабочей зоны в ориентированном состоянии. С этой целью используются различные накопительные, подающие и ориентирующие устройства, которые необходимо заменять при переходе на выпуск другого изделия, что также снижает эффективность применения ПР в производственных системах. Значительная часть ПР имеет жесткую кинематическую схему, которая не позволяет при необходимости увеличивать число степеней свободы и рабочую зону. В лучшем случае они снабжены набором схватов для манипулирования различными предметами.

Системы управления (СУ) реализуют, как правило, один тип управления (позиционное или контурное), что ограничивает функциональные возможности ПР. СУ обладают запоминающими устройствами с ограниченным объемом памяти, не имеют возможности наращивания аппаратных средств. Недостаточно развитый интерфейс не позволяет создавать иерархические системы управления производственными системами с использованием ЭВМ большой мощности. Кроме того, отсутствие сенсорных устройств или наличие простейших датчиков не обеспечивает реализацию принципа адаптивного управления ПР.

Основное же условие широкого внедрения ПР в производство – выполнение различных видов работ с высокой эффективностью.

Эта задача может быть решена путем создания многоцелевых робототехнических систем (РТС), свободных от указанных недостатков. В состав сис-

темы должен входить один или несколько ПР, построенных по модульному принципу, обладающих 6–12 степенями свободы с набором сменных захватывающих устройств. Привод робота (например, электрический) с обратными связями по положению, скорости и моменту должен обеспечить движение рабочего органа робота с необходимой скоростью и ускорением, гарантировать точность позиционирования 0,1 мм. Сенсорные устройства, набор датчиков РТС должны обеспечивать регистрацию различных ее внутренних параметров, например, положение ПР в пространстве, место приложения нагрузки и ее значение, температуру рабочего органа ПР и внешних параметров среды — наличие или отсутствие объекта манипулирования, его положение и ориентацию.

Управляющее устройство РТС должно сопрягаться с технологическим оборудованием, тип которого заранее неизвестен, обладать способностью к модификации и наращиванию аппаратных средств в зависимости от способа его применения и не ориентироваться на конкретный тип ПР.

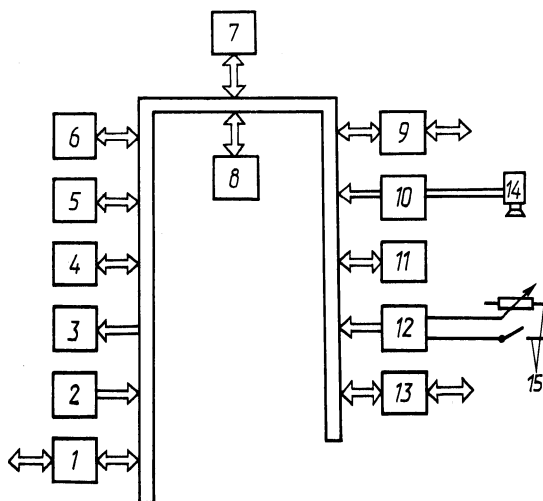


Рис. 1. Блок-схема многоцелевой РТС:

1 — блок связи с центральной ЭВМ; 2 — устройство ввода с перфоленты; 3 — перфоратор; 4 — дисплей; 5 — пульт оператора; 6 — накопитель на гибких дисках; 7 — процессор; 8 — оперативное запоминающее устройство; 9 — блок синхронизации с внешними элементами; 10 — система технического зрения; 11 — приводы ПР; 12 — система технического осязания; 13 — блок связи с технологическим оборудованием; 14 — ТД; 15 — тактильные датчики

На рис. 1 приведена блок-схема многоцелевой РТС. Устройство управления РТС построено на базе мини-ЭВМ со стандартным набором периферийного оборудования. Программа, выполняемая в данный момент, размещается в оперативном запоминающем устройстве (ОЗУ), в которое (в случае необходимости) вызываются подпрограммы из библиотеки, хранящейся в накопителе на гибких дисках. Накопитель также хранит и наборы основных программ для случаев различного применения РТС.

Составление и редактирование управляющих программ можно осуществлять с помощью дисплея. Кроме того, программы могут быть введены также с внешнего носителя (например, с перфоленты) или переданы в систему от центральной ЭВМ. Процессор реализует основные алгоритмы управления перемещениями рабочих органов ПР по соответствующей траектории с необходимой скоростью и движениями схвата. Кроме того, он осуществляет взаимодействие работы робота с другими элементами РТС, работой технологиче-

ского оборудования, системами технического зрения и осязания, выполняет ответственные переключения и блокировки сигналов, поступающих от оборудования, с целью предотвращения столкновений и возникновения аварийных ситуаций. Для ручного управления РТС и программирования ПР методом обучения используется пульт оператора. РТС оснащается блоком связи с центральной ЭВМ для возможности работы в составе автоматизированных производственных комплексов. Блок приводов обеспечивает сопряжение РТС с конкретным типом ПР. Он выполняется на базе специализированного контролера или микропроцессоров, каждый из которых управляет перемещением по соответствующим координатам. Система технического зрения, входящая в состав РТС, осуществляет распознавание объекта манипулирования, определяет его положение, следит за его движением. С этой целью она решает, по крайней мере, две задачи: обеспечивает восприятие визуальной информации и ее переработку. Для регистрации объекта используются методы ультразвуковой локации, лазерные дальномеры, различные фотоэлементы и их наборы. Наибольшее распространение получили оптические преобразователи, построенные на базе телевизионных датчиков (ТД). Объект манипулирования, как правило, освещается источником света, его отражение непосредственно или через систему зеркал поступает в ТД. Объем информации ТД достаточно велик (например, при количестве строк растра и числе элементов разложения в строке, равном 100, необходимо запомнить 10000 единиц информации). При этом переработка информации для принятия решения в реальном масштабе времени должна происходить за время, не превышающее 0,1 с. Поэтому системы технического зрения строятся на базе микроЭВМ, которая и обеспечивает переработку визуальной информации.

Система технического осязания, содержащая датчики касания, наличия и проскальзывания предметов в схвате, сил и моментов реакций, действующих на исполнительный орган ПР со стороны перемещаемого предмета, позволяет расширить функциональные возможности ПР при выполнении им сборочных операций. Информация, полученная от датчиков, используется для коррекций, которые подаются в систему управления движениями ПР в качестве сигналов обратной связи. Измерение и предварительную обработку информации о силах и моментах реакции производит встроенный микропроцессор.

Программирование работы ПР в системе может быть осуществлено методом обучения или с помощью языков программирования. При обучении рабочий орган ПР перемещается по желаемой траектории, координаты которой записываются в ЗУ. Однако такой метод программирования требует остановки системы и не всегда удобен. В системе могут быть использованы как явные языки программирования, которые требуют программирования каждого отдельного движения, так и языки, ориентированные на моделирование окружающей среды. Проблемно-ориентированные языки (например, FORTRAN) не обеспечивают требуемого быстрого действия при решении задач восприятия визуальной информации или движения по сложной траектории с высокой скоростью. Для таких задач используется мнемокод ASSEMBLER.

Программное обеспечение РТС построено по модульному принципу, где задачи преобразования координат, управления движением, измерения сил, сбора оперативных данных оформлены в виде подпрограмм, библиотека которых может расширяться путем включения в нее новых модулей.

Таким образом, состав устройств РТС и программное обеспечение позволяют ей в комплексе с оборудованием выполнять различные технологические операции. Многоцелевая РТС может легко модифицироваться новыми элементами или упрощаться путем исключения ненужных блоков и устройств в каждом конкретном случае ее использования.

Широкое применение такие РТС могут найти при создании гибких производственных систем (ГПС), применение которых наиболее эффективно при серийном характере производства. В ГПС, состоящих из обрабатывающего оборудования с ЧПУ типа CNC, связанного транспортными системами, интегральных систем контроля и управляющей ЭВМ, многоцелевые РТС могут выполнять как основные, так и вспомогательные операции. На рис. 2 приведена

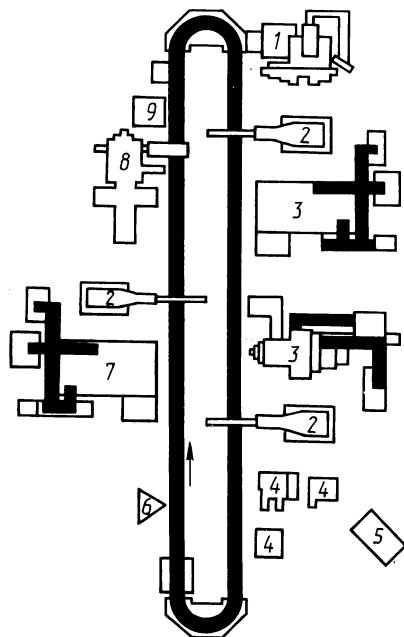


Рис. 2. Гибкая технологическая система: 1 — шлифовальный станок; 2 — робот; 3 — токарный станок с ЧПУ; 4 — устройство для измерения обработанной детали; 5 — центральная ЭВМ; 6 — зона загрузки-выгрузки; 7 — расточный станок с ЧПУ; 8 — сварочная машина; 9 — контроль качества сварки

гибкая технологическая система фирмы XEROX для обработки цилиндров фотокопиров, где РТС выполняют операции транспортирования детали с конвейера к обрабатывающему оборудованию. Применение РТС в ГПС позволяет обеспечить независимость ее функционирования от сменности и продолжительности рабочего дня, простоту перенастройки на выпуск новой продукции.

Особенно эффективно применение многоцелевых РТС при выполнении сборочных работ. В этом случае максимально используются ее возможности адаптации к условиям окружающей среды при помощи систем технического зрения и осязания.

Использование РТС с высоким уровнем интеллекта позволяет осуществлять концентрацию операции на одной сборочной позиции, что упрощает систему транспортировки сборочных единиц, экономит производственную площадь, увеличивает производительность роботизированной сборки.

Н.И.ЖИГАЛКО, канд. техн. наук,
Б.И.СИНИЦЫН, канд. техн. наук (БПИ),
П.Л.РОЗЕНТАЛЬ, канд. техн. наук
(ИТК АН БССР)

ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ САПР МНОГОИНСТРУМЕНТНЫХ НАЛАДОК АГРЕГАТНЫХ СТАНКОВ

Разработка САПР многоинструментных наладок агрегатных станков имеет ряд специфических особенностей. В связи с этим остановимся на ряде вопросов, связанных с информационным, методологическим, программным и организационным обеспечением при разработке такой системы.

Основой информационного обеспечения являются данные стандартов нормалей, включающие множество типоразмеров деталей и узлов, из которых komponуется наладка (режущие и вспомогательные инструменты, шпиндели, а также элементы направления, с которыми инструменты сопрягаются). Эти данные образуют информационную базу системы. Состав базы должен быть по возможности полным, т. е. должен включать все имеющиеся виды стандартов и нормалей, используемых при проектировании наладок агрегатных станков. База данных должна иметь возможность пополняться новыми видами нормалей на инструменты. Таблицы базы данных должны быть построены таким образом, чтобы их структура, т. е. номенклатура параметров и последовательность их расположения в шапке соответствующей таблицы информационной базы, по возможности была одинаковой для групп инструмента одного вида и назначения. Это позволит впоследствии значительно упростить и унифицировать задачу формализации процесса проектирования.

Под методологическим обеспечением САПР наладок будем понимать методологию, на основе которой будет вестись формализация процесса проектирования. Опыт работ в данном направлении выявил значительные трудности, возникающие при этом. Это связано прежде всего с тем, что процесс является плохо детерминированным и как следствие — трудно формализуемым: логика в сочетании с выбором параметров из таблиц значительно преобладают над арифметическими операциями.

Возможность применения современных технических средств в виде ЕС ЭВМ с периферийными терминалами (алфавитно-цифровой и графический дисплей, графопостроители и т. п.) позволяет упростить формализацию задачи и решать ее на основе применения диалогового режима. Предварительно процесс разбивается на ряд независимых частей. Каждая из них решается в автоматическом режиме, а выводимые на экран дисплея промежуточные результаты анализируются оператором и при необходимости корректируются. Обращение к дисплею наиболее целесообразно в тех местах процесса, где требуется анализ ряда вариантов с целью выбора окончательного или требуется проверка получаемых результатов.

Учитывая трудности формализации процесса, при создании методологии САПР наладок агрегатных станков следует основываться на опыте их проектирования вручную. В исходные данные целесообразно вынести сведения об

обрабатываемых поверхностях, технологическом процессе их обработки, а также ряд других параметров, введение которых позволяет упростить формализацию задачи. Иначе говоря, при разработке системы следует определить степень рациональности ввода в исходные данные каждого параметра с целью уменьшения сложности и объема формализованного описания.

Для каждого вида обработки, используемого при проектировании наладок, должно быть определено конечное число схем шпинделей, проставлены размерные цепи в общем виде, определены виды режущих и вспомогательных инструментов, необходимые при компоновке каждой схемы в зависимости от конкретных условий.

Для решения задачи должны быть выполнены следующие этапы: а) оснащение наладок режущим и вспомогательным инструментом; б) выбор вылетов и посадочных размеров шпинделей; в) расчет размерных цепей; г) получение спецификации наладки; д) вычерчивание общего вида наладки на графопостроителе.

Программное обеспечение САПР наладок строится на основе применения как универсальных средств (язык ФОРТРАН), так и специальных (средство автоматизации программирования вычерчивания — РАД ЕС). Оно должно состоять из головной программы, включающей модули проектирования, диалога и вычерчивания.

Модули проектирования должны обеспечивать реализацию вышеперечисленных этапов за исключением последнего. Диалоговые модули должны предусматривать: ввод исходных данных; графический или алфавитно-цифровой контроль исходных данных; корректировку варьируемых параметров; выбор варианта функционирования системы. Модули вычерчивания в качестве исходных данных используют параметры, получаемые в результате реализации модулей проектирования. Указанные параметры подразделяются на три вида: линейные, диаметральные и проставляемые на выносках (обозначения инструмента). Программирование вычерчивания ряда линий, не заданных на соответствующей схеме, выполняется как функция заданных параметров. Перед программированием вычерчивания схем шпинделей проводится их анализ на предмет выделения максимального числа общих типовых изображений.

Под организационным обеспечением САПР наладок следует понимать работу по организации эффективного функционирования системы. Сюда следует отнести решение следующих организационных вопросов: подготовка заданий для проектирования наладок, работа с базой данных, кодирование исходной информации, работа за дисплейным пультом.

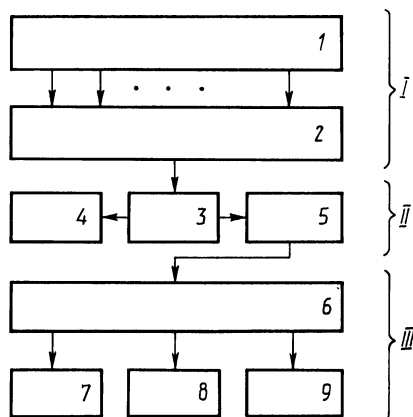
В целом система должна иметь многоуровневую иерархическую структуру, что сделает ее в значительной степени открытой и позволит модифицировать для различных производственных условий с минимальными затратами.

АНАЛИЗ СРЕДСТВ ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Автоматизированное управление робототехническими комплексами (АУ РТК), которые предназначены для обслуживания металлообрабатывающих станков, прессов и другого оборудования, предполагает широкое применение в них информационных систем, структура которых не только сводится к простому оснащению их датчиками внешней информации, но и требует выбора средств комплексного отображения полученной информации человеку-оператору для контроля и оперативного управления РТК.

В информационном потоке сенсорных устройств РТК можно выделить три уровня преобразования информации (рис. 1). Во-первых, уровень воспри-

Рис. 1. Уровни преобразования потока информации сенсорных устройств РТК: 1 – внешняя среда, включая человека; 2 – датчики информации, включая анализатор речи человека; 3 – УВМ; 4 – информация для автоматического управления; 5 – информация для отображения человеку-оператору; 6 – СОИ: визуальные (7), тактильные (8), звуковые (9)



ятия информации I, обусловленный взаимодействием различных чувствительных устройств РТК, включая анализатор речи человека, с внешней средой. Во-вторых, уровень обработки информации II, на котором происходит разделение потока информации на два направления: а) выделение информации для автоматического управления, контроля, диагностики и обеспечения техники безопасности при эксплуатации РТК; б) выделение информации для отображения оператору при автоматизированном управлении комплексом. В-третьих, уровень отображения информации III с помощью устройств, воздействующих на определенные сенсорные модальности человеческого организма. С этой точки зрения, средства отображения информации (СОИ), наиболее развитые в плане их технической реализации, делятся на визуальные, тактильные и звуковые.

Визуальные СОИ составляют наиболее большой и развитый класс систем, включающий мониторы, дисплеи, пульта индикации и т. д., выполненные на электронно-лучевых трубках, газоразрядных лампах, жидких кристаллах и

т. д. Однако использование только зрительной модальности оператора приводит к его быстрой утомляемости и снижению эффективности работы.

Тактильные СОИ подразделяются на устройства отображения осязания, давления и температуры, которые выполняются в виде струйных и вибрационных стимуляторов, воздействующих на кожу рук оператора.

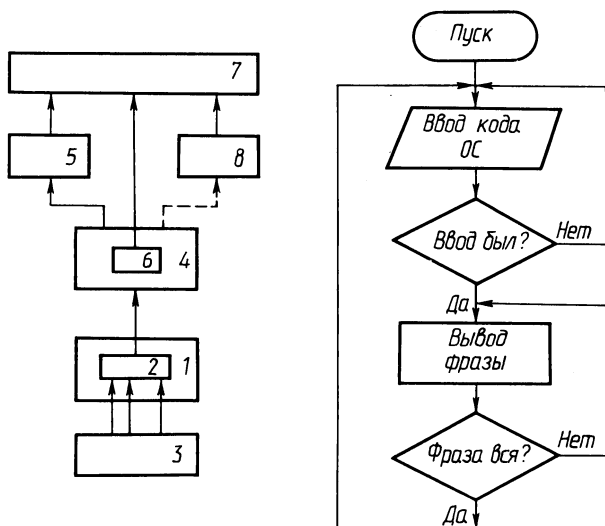


Рис. 2. Функциональная схема (а) и алгоритм работы (б) системы контроля РТК

В звуковых СОИ можно выделить устройства сигнализации типа сирен и устройства, синтезирующие разборчивую человеческую речь, воспринимаемую оператором на слух. Эти средства подразделяются на два вида: устройства речевого кватирования и синтезаторы речи. В первых происходит формирование речи считыванием с магнитной ленты ЭВМ в требуемом порядке естественного, необработанного аналогового речевого сигнала. Вторые осуществляют адекватное преобразование записанной и хранимой в памяти машины в двоичном коде текстовой информации в сигналы управления синтезатором речи, который из буквенно-цифровых последовательностей осуществляет автоматический синтез речевых сообщений.

Комплексное использование разных СОИ позволяет существенно улучшить выполнение задач по управлению автоматизированными системами. На практике пользуются различными комбинациями СОИ, воздействующими на разные сенсорные модальности оператора. В частности, дублирование визуальных СОИ речевыми позволяет разгрузить зрительный канал восприятия информации и снизить психологическую нагрузку оператора, что повышает эффективность оперативного управления РТК.

Рассмотрим функциональную схему и алгоритм работы системы контроля РТК (рис. 2). Комплекс состоит из промышленного робота (ПР) модели 3388 1, оснащенного чувствительными устройствами 2, которые контролируют изменения условий внешней среды 3 и перемещения исполнительных ор-

ганов ПР, а также управляющей вычислительной машины (УВМ) „Чекан-901“ 4, в состав которой входят цифрорпечатающая машинка (ЦПМ) „Consul“ 5 и индикационная панель отображения текущей информации 6. После включения комплекса в работу состояние датчиков информации ПР непрерывно контролируется УВМ. При изменении условий внешней среды датчики вырабатывают сигналы, которые кодируются, передаются в УВМ и сравниваются с кодами речевых сообщений, хранящихся в памяти машины в виде готовых фраз. При совпадении кодов их значение высвечивается в двоично-восьмеричной форме на индикационной панели УВМ, затем производится автоматический вывод и распечатка текста на ЦПМ для оператора 7. Ведутся исследования по использованию в комплексе в качестве речевого СОО синтезатора речи „Фонемофон-3“ 8, посредством которого будет отображаться информация, необходимая для оперативного управления РГК. ЦПМ в дальнейшем предполагается использовать для документальной регистрации сообщений об изменении в работе комплекса.

УДК 621.004.58

**И.В. КОНОВАЛОВ (ИНДМАШ АН БССР),
А.В. САМОЙЛЕНКО, канд. техн. наук (БПИ)**

УСИЛИТЕЛЬНО-СОГЛАСУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ШЛЕЙФОВ ПРИ ОПЕРАТИВНОМ КОНТРОЛЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Современное автоматизированное технологическое оборудование представляет собой комплекс сложных механических и электронных систем, динамические характеристики которых в значительной мере определяют работоспособность всего оборудования.

На практике часто возникает необходимость регистрации исследуемого процесса при диагностике, ремонте и отладке такого оборудования, при проведении исследовательских работ. Имеются многоканальные светолучевые осциллографы, регистрирующие с помощью магнитоэлектрических гальванометров на фотобумаге динамические процессы в полосе частот 0...15 кГц. Специальная бумага мгновенного сухого проявления, чувствительная к ультрафиолетовому облучению, обеспечивает необходимую оперативность контроля. Многие универсальные и специальные измерительные приборы и системы для контроля параметров вибрации имеют выходы для подключения регистрационной аппаратуры. Однако характеристики ряда таких приборов не отвечают требованиям подключения высокочувствительных гальванометров по максимально допустимому постоянному току и действующему значению переменного тока. Превышение этих пределов выводит гальванометр из строя. Кроме того, в одних случаях возникает необходимость регистрации переменного процесса при определенном уровне постоянной составляющей сигнала либо при максимальном усилении преобразующей аппаратуры. Это характерно при использовании высокочастотных гальванометров, имеющих

невысокие коэффициенты преобразования. В других случаях требуется дополнительная регулировка общего коэффициента усиления аппаратуры для размещения амплитудного размаха светового луча при регистрации сигнала в пределах размеров фотобумаги. Использование выпускаемых промышленностью усилителей постоянного и переменного тока Ф1510, имеющих выходы для подключения гальванометров и специально предназначенных для согласования с контрольно-измерительной аппаратурой, требует расчета и сборки дополнительных согласующих схем в каждом конкретном случае и не всегда оправдано в производственных условиях.

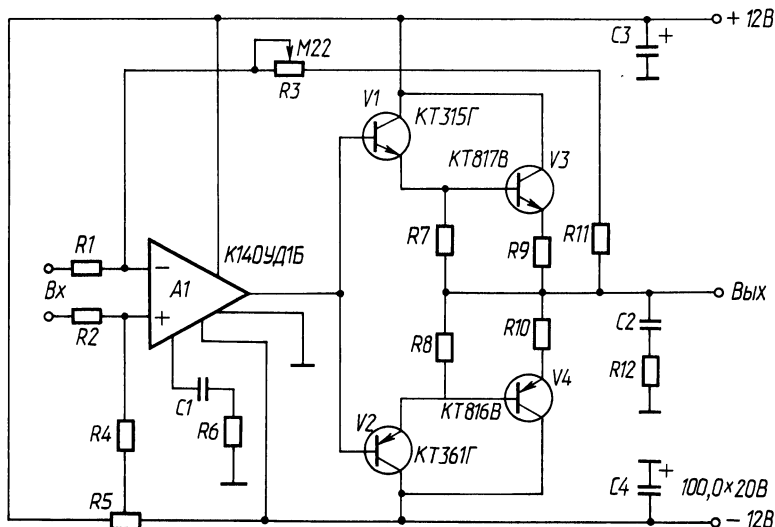


Рис. 1. Схема усилительно-согласующего устройства для подключения шлейфов при оперативном контроле динамических процессов

В связи с этим было разработано простое усилительно-согласующее устройство (рис. 1) на одном операционном усилителе К140 УДБ1Б и четырех транзисторах. Устройство выполняет регулируемое усиление входного сигнала и балансировку до нуля его постоянной составляющей путем подачи постоянного напряжения на неинвертирующий вход операционного усилителя. Наибольший коэффициент усиления равен 22. Пределы входного напряжения 0 ± 10 В. Температурный дрейф напряжения смещения нуля составляет $0,02$ мВ/град. Входное напряжение смещения нуля — 10 мВ. Допустимый диапазон изменения напряжения питания для уравнивания входного сигнала составляет $\pm 12,6$ В. Питание осуществляется от стабилизированного источника (+12 В, -12 В). Регулировка коэффициента усиления обеспечивается с помощью переменного резистора R3. Балансировка постоянной составляющей входного сигнала до нуля осуществляется переменным резистором R5.

Подключать гальванометр следует после включения и балансировки устройства. Контроль уровня выходного сигнала при балансировке удобно осуществлять с помощью измерительного прибора типа Ц4313.

Для предупреждения выхода из строя гальванометров при превышении максимально допустимого входного тока можно рекомендовать усилительно-согласующее устройство с регулируемым ограничением входного сигнала. Достигается это дополнительным включением двух операционных усилителей, один из которых задает уровень ограничения. Точность регулировки ограничения равна 1 мВ. Усилитель, задающий уровень ограничения, включается последовательно с ограничивающим элементом (диодом). Двустороннее симметричное ограничение получается при встречном включении одновременно двух диодов.

Это устройство, в отличие от первого, работает как неинвертирующий усилитель, что позволяет, в случае необходимости, в широких пределах изменять коэффициент преобразования всего устройства.

Простота изготовления в эксплуатации данных устройств позволяет рекомендовать их для регистрации исследуемых процессов на светолучевом осциллографе, что существенно расширяет возможности контрольно-измерительной аппаратуры при диагностике станочных и других механических систем.

УДК 007.52

Р.В.НОВИЧИХИН, А.В.САМОЙЛЕНКО,
канд. техн. наук, Г.В.СВИДЕРСКИЙ (БПИ)

К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ ДЛЯ ОРИЕНТАЦИИ РАБОЧЕГО ОРГАНА ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА В ПРОСТРАНСТВЕ

В данной работе предлагается метод использования радиационного поля для „очувствления“ промышленных роботов (ПР). В частности, рассматривается задача позиционирования рабочего органа ПР относительно объекта в случаях, когда взаимное положение ПР и объекта неоднозначно или постоянно изменяется от цикла к циклу. Технологическими примерами таких задач может служить загрузка определенных деталей в предназначенные для них гнезда движущегося транспортера, точная установка деталей на спутники, многостаночное обслуживание одним перемещающимся ПР с недостаточной точностью его останова возле каждого станка и т. д.

Сущность предлагаемого решения заключается в достижении определенного взаимного положения радиоактивного источника и приемника излучения, один из которых установлен на рабочем органе ПР, а другой — на объекте, относительно которого положение детали задается или определено (в установочных элементах приспособлений станков, на станке, в гнездах транспортера и т. д.).

В предлагаемом устройстве (рис. 1) от источника 1 с помощью коллиматора 2 создается пучок радиоактивного излучения. Попадая в детектор 3, разделенный экранирующими перегородками 4 на четыре одинаковых секции, излучение вызывает в последних световые вспышки. Детектор 3 экранируется корпусом 12 с профильной вставкой 13. Световое излучение каждой сек-

ции фокусируется собственным фокусом 5 и по волоконному световоду 6 передается в фотоприемное устройство 7, имеющее соответственно также четыре канала. Здесь световые сигналы преобразуются в электрические и после усиления в блоке 8 подаются на дифференциальный анализатор импульсов 9. Последний осуществляет избирательную регистрацию сигналов определенной интенсивности (отделяя полезные сигналы от шумовых), выделяет излучение того или иного источника. Система управления ПР 10 сравнивает интенсивности сигналов, полученных от каждой секции детектора, и через привод 11 исполнительного механизма ПР обрабатывает рассогласование.

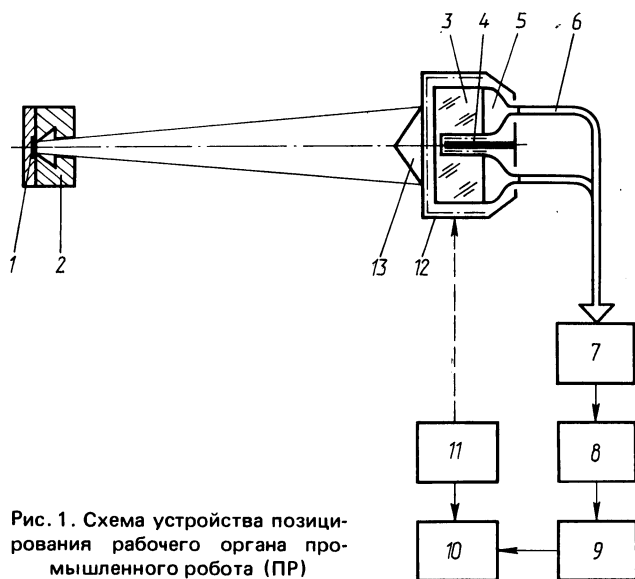


Рис. 1. Схема устройства позиционирования рабочего органа промышленного робота (ПР)

Одна пара „источник — приемник“ обеспечивает позиционирование в одной плоскости, две пары — в пространстве. Все источники должны обладать различными интенсивностями излучений. Наличие дифференциального анализатора дает возможность вести управление относительно нескольких источников с помощью одного приемника при соответствующем конструктивном исполнении последнего. Возможно также управление положением одного источника, установленного на ПР, при помощи нескольких стационарных приемников.

Экраны приемника и источника целесообразно активно использовать для позиционирования. Это обуславливается тем, что при прохождении параллельного пучка гамма-лучей через слой вещества толщиной d их интенсивность I_0 уменьшается по зависимости

$$I_d = I_0 e^{-\mu d},$$

где μ — коэффициент линейного ослабления.

Таким образом, использование экранов переменной толщины и различных материалов, а также изменение степени перекрытия детектора экраном

позволит значительно повысить чувствительность (точность позиционирования) устройства и расширить его функциональные возможности. Этим целям служат элементы 2, 4, 13 на рис. 1.

В качестве источников гамма-лучей целесообразно использовать изотопы с периодом полураспада, соизмеримым со сроком службы устройства позиционирования, например Co^{60} (5,2 года). Ввиду того что в предлагаемом устройстве точность позиционирования не зависит от абсолютного значения интенсивности и что ПР относительно часто перепрограммируется, возможно использование и других менее долгоживущих изотопов, например Mn^{54} (0,86 года), Zn^{65} (0,67 года). Источник может быть выполнен в виде отдельной вставки стабильного изотопа или в виде части облученной детали (обработанной, например, методом поверхностной активации). Решающее требование к источнику — безопасность для производственного персонала.

В качестве детектора излучения наиболее целесообразны кристаллы $\text{NaI}(\text{Te})$ или $\text{CaI}_2(\text{Eu})$. Кристалл разрезается на секции и покрывается прозрачной герметизирующей оболочкой.

Предлагаемое устройство ориентации ПР с использованием радиационного поля отличается простотой и надежностью. Источники излучения практически безотказны, полностью автономны и не требуют питания.

Использование устройства наиболее целесообразно для манипуляционных операций, требующих высокой точности позиционирования в ограниченном пространстве, когда необходимо корректировать жесткую программу ПР „по месту“ на конечных участках пути к заданным точкам.

УДК 007.52.001

А. В. ДРОЗДОВ, А. Н. ДОМАРЕНКО,
М. И. ЛЮБОВКИН, канд. техн. наук (БПИ)

ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ АВТОМАТИЗАЦИИ МЕЛКОСЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Перенесение традиционных средств и способов автоматизации штамповки, сложившейся в крупносерийном и массовом производстве, на мелкие серии оказывается недостаточно эффективным. К качественным признакам, отличающим мелкосерийное штамповочное производство от серийного, относятся:

большая номенклатура выпускаемой продукции по отношению к наличному парку оборудования (в среднем число переналадок в смену около 2);
нестабильность продукции (в среднем каждое изделие находится в производстве не более 3—5 лет).

Опыт изучения состава технологического оборудования ряда предприятий позволяет сделать вывод о том, что при мелкосерийном типе производства основным видом оборудования является и останется в будущем универсальное. Поэтому повышать уровень автоматизации мелкосерийного штамповочного производства следует преимущественно за счет оснащения универ-

сального оборудования различными внешними средствами автоматизации и объединения автоматизированных участков и робототехнологических комплексов (РТК) в гибкие автоматические линии, к которым из-за большого числа переналадок предъявляются требования быстрой переналадки. Очевидно, переналадку РТК или автоматической линии необходимо осуществлять автоматически, используя магазины штампов и соответствующие автоматические приспособления. Однако развитие этого направления находится в настоящее время на стадии эксперимента. Для создания средств автоматизации с автоматической подналадкой необходимо сформулировать требования, учитывающие параметры основной группы выпускаемых деталей. Но очевидно, что проектировать средства автоматизации для выпуска каждого изделия отдельно невозможно, поэтому целесообразно разделить множество деталей на классы по критерию общности в смысле возможности и целесообразности их автоматизации. Если существует возможность формального описания элементов множества, эта задача не представляет особого труда и в данном случае. При описании изделия приходится учитывать совокупность факторов, которые невозможно описать количественно. Кроме того, факторы могут быть взаимно зависимыми и при этом еще приходится учитывать технологические особенности производства: состав и тип оборудования, степень его износа и приспособленность для целей автоматизации. Таким образом, для конкретного изделия приходится учитывать группы факторов, связанные с конструктивными особенностями, особенностями технологии, возможностями оборудования, а также свойствами обрабатываемого материала.

Первым этапом решения задачи классификации является формальное задание элемента множества. Описание элемента зависит от цели исследования и от критерия, по отношению к которому производится классификация. В нашем случае ставится задача повышения уровня автоматизации на базе использования средств с автоматической подналадкой. Это обстоятельство и определяет характер обследования производства по составу деталей и существующей технологии. Исходные данные оформляются в виде таблицы, где констатирующая часть содержит сведения о конструктивных и технологических особенностях деталей, а в аналитической части содержатся экспертные оценки, отображающие возможности и пути повышения уровня автоматизации каждой конкретной детали. Из-за трудности формализации аналитическая часть таблицы заполняется экспертами в двоичной системе (1 — да, 0 — нет). Для определения сложности деталей была принята следующая шкала: 0 — простая; 1 — средней сложности; 2 — повышенной сложности; 3 — сложная и 4 — особо сложная. Эта шкала учитывает сложность контура, изгибы, возможность автоматической ориентации и используется экспертами для оценок. Анализ таблицы позволяет сделать вывод о том, что большинство деталей имеет одну или две технологические операции. По таблице каждой детали можно поставить в соответствие вектор R_i :

$$R_i = \{\theta, \alpha_j, \beta_j, \gamma_j\},$$

где i — номер детали; j — номер координаты вектора в своей группе; α, β, γ — координаты вектора, характеризующие соответственно: α — параметры заготовки; β — параметры детали; γ — возможность автоматизации (экспертные оценки); θ — годовой выпуск детали.

Рассмотрим группу координат γ , характеризующую соответственно возможности изготовления деталей на автомате γ_1 , автоматизации первой операции γ_2 , автоматизации второй операции γ_3 , а также материал заготовки γ_4 ($\gamma = 1$ — металл, $\gamma = 0$ — неметалл).

Методом экспертных оценок все множество A выпускаемых деталей по возможности автоматизации разбивается на четыре класса: класс A_1 — детали, изготовление которых может быть полностью осуществлено на автоматах, и детали, первая операция изготовления которых может быть также осуществлена на автоматах без автоматизации последующих операций; A_2 — детали, первая операция изготовления которых может выполняться на автоматах с дальнейшей автоматизацией выполнения последующих операций; A_3 — детали, изготавливаемые на универсальном оборудовании с возможностью автоматизации первой технологической операции; A_4 — детали, изготавливаемые на универсальном оборудовании с возможностью автоматизации первой и второй технологической операции; A_5 — детали из слоистых материалов, изготавливаемые на универсальном оборудовании с возможностью автоматизации.

В результате получим логическое условие принадлежности деталей к классам

$$A_1 - P_1 = (\theta \geq K_B) \wedge (\gamma_1 = 1) \wedge (\gamma_2 = 1) \wedge (\gamma_3 = 0) \wedge (\gamma_4 = 1).$$

Тогда

$$\begin{aligned} A_1 &= \{Q_i \in A/P_1\}; \\ A_2 - P_2 &= (\theta \geq K_B) \wedge (\gamma_1 = 1) \wedge (\gamma_2 = 1) \wedge (\gamma_3 = 1) \wedge (\gamma_4 = 1), A_2 = \{Q_i \in A/P_2\}; \\ A_3 - P_3 &= (\theta \geq K_B) \wedge (\gamma_1 = 0) \wedge (\gamma_2 = 1) \wedge (\gamma_3 = 0) \wedge (\gamma_4 = 1), A_3 = \{Q_i \in A/P_3\}; \\ A_4 - P_4 &= (\theta \geq K_B) \wedge (\gamma_1 = 0) \wedge (\gamma_2 = 1) \wedge (\gamma_3 = 1) \wedge (\gamma_4 = 1), A_4 = \{Q_i \in A/P_4\}; \\ A_5 - P_5 &= (\theta \geq K_B) \wedge (\gamma_1 = 0) \wedge (\gamma_2 = 1) \wedge (\gamma_3 = 0) \wedge (\gamma_4 = 0), A_5 = \{Q_i \in A/P_5\}, \end{aligned}$$

где K_B — критерий целесообразности.

Для оценки приближенного значения K_B предположим, что средняя производительность автоматизированного оборудования K и максимальное число переналадок в смену R со средним временем переналадки t_n . Тогда критерий целесообразности по количеству выпуска определится как

$$K_B \approx \frac{(T - Rt_n) K}{R},$$

где T — плановое время работы оборудования в смену.

Автоматизация в каждом классе реализуется конкретной схемой, которая содержит соответствующие технические средства. Схема автоматизации первого класса автоматизирует подачу полосы в пресс-автомат с помощью штабелера и манипулятора. Манипулятор захватывает заготовку из стопы и подает ее на позицию захвата. Вырубленная деталь попадает в лоток и далее в тару для деталей.

В схеме автоматизации второго класса первая операция штамповки (вырубка контура и пробивка отверстия) осуществляется прессом-автоматом, так же как и в схеме автоматизации первого класса. После первой операции детали сбрасываются в тару и подаются к устройству набивки кассет. Кассеты устанавливаются на шиберное устройство, которое подает детали в пресс-

сы, и осуществляется вторая операция штамповки (например, гибка). Схема автоматизации третьего класса аналогична схеме автоматизации первого класса. Однако в этом случае осуществляют подачу заготовки на универсальный пресс. Схема автоматизации четвертого класса осуществляет подачу заготовки в первый пресс также штабелером и манипулятором. Вырубленная деталь захватывается из прессы первым роботом и подается на транспортное устройство, которое транспортирует деталь в зону обслуживания второго робота. Второй робот захватывает ее и подает в зону обработки второго прессы. Обработанная деталь сбрасывается в тару. В схеме автоматизации пятого класса учитывается то, что в данном случае осуществляется штамповка слоистых материалов с предварительным нагревом заготовки. В этой схеме перед подающим устройством установлен нагревательный элемент. Подача заготовки в пресс производится с помощью устройств, рассмотренных выше.

Предложенные схемы автоматизации для каждого класса учитывают технологию изготовления, но не учитывают геометрических размеров деталей. В каждом классе могут встретиться детали, родственные по способу изготовления, но в значительной степени отличающиеся размерами. Отличие размеров оказывается столь значительным, что создание технических средств, удовлетворяющих по своим характеристикам всем представлениям класса, становится невозможным.

Эту трудность можно преодолеть, разбив полученные классы на подклассы, определив для каждого диапазон подналадки соответствующей схемы автоматизации. Для определения подклассов и диапазонов подналадки в них рассмотрим группу координат вектора, которая отражает длину a_1 , ширину a_2 , толщину a_3 заготовки. Каждая координата представляет собой непрерывную случайную величину, для которой на основании данных обследования строится эмпирическое распределение. Отбрасывая области распределения, соответствующие малым вероятностям, определим множество поддиапазонов наладок по данному параметру ρ_{\min} и ρ_{\max} :

$$M = \int_{\rho_{\min}}^{\rho_{\max}} f(\alpha) d\alpha.$$

Выделение соответствующих диапазонов происходит также при помощи экспертных оценок. Пусть, например, на кривых распределения координат a_1 , a_2 и a_3 вектора выделены диапазоны: для a_1 — $\rho_1^i \div \rho_2^i$, $\rho_3^i \div \rho_4^i$; для a_2 — $\rho_1^{ii} \div \rho_2^{ii}$, $\rho_3^{ii} \div \rho_4^{ii}$; для a_3 — $\rho_1^{iii} \div \rho_2^{iii}$. Тогда можно сформулировать критерии разбиения всего множества деталей A на классы, характеризующие общность параметров заготовки. При данных допущениях получается четыре класса:

первый класс $V_1 = \{Q_i \in A/P_6\}$,

где $P_6 = (\rho_1^i < a_1 < \rho_2^i) \wedge (\rho_1^{ii} < a_2 < \rho_2^{ii}) \wedge (\rho_1^{iii} < a_3 < \rho_2^{iii}) \wedge \bar{P}_5$;

второй класс $V_2 = \{Q_i \in A/P_7\}$,

где $P_7 = (\rho_1^i < a_1 < \rho_2^i) \wedge (\rho_3^i < a_2 < \rho_4^i) \wedge (\rho_1^{iii} < a_3 < \rho_2^{iii}) \wedge \bar{P}_5$;

третий класс $V_3 = \{Q_i \in A/P_8\}$,

где $P_8 = (\rho_3^i < a_1 < \rho_4^i) \wedge (\rho_3^{ii} < a_2 < \rho_4^{ii}) \wedge (\rho_1^{iii} < a_3 < \rho_2^{iii}) \wedge \bar{P}_5$;

четвертый класс $V_4 = \{Q_i \in A/P_9\}$,

где $P_9 = (\rho_3^I < \alpha_1 < \rho_4^I) \wedge (\rho_1^{II} < \alpha_2 < \rho_2^{II}) \wedge (\rho_1^{III} < \alpha_3 < \rho_2^{III}) \wedge \bar{P}_5$.

Очевидно, что V_1, V_2, V_3, V_4 есть множества, полученные ориентированно на соответствующие схемы автоматизации.

Сформулируем логические условия и определим массив деталей для изготовления по первой, третьей и пятой схемам автоматизации.

$$P_{11} = P_6 V P_7 V P_8 V P_9.$$

Тогда массив деталей для изготовления по первой схеме автоматизации $W_1 = \{Q_i \in A/P_{11}\}$ подразделяется на четыре подкласса деталей, определяющих соответствующие подналадки оборудования: $W_1^1 = W_1 \cap V_1$; $W_1^2 = W_1 \cap V_2$; $W_1^3 = W_1 \cap V_3$; $W_1^4 = W_1 \cap V_4$. Массив деталей для изготовления по третьей схеме $W_3 = \{Q_i \in A_3/P_{11}\}$ подразделяется также на четыре подкласса: $W_3^1 = W_3 \cap V_1$; $W_3^2 = W_3 \cap V_2$; $W_3^3 = W_3 \cap V_3$; $W_3^4 = W_3 \cap V_4$. Массив деталей для изготовления по пятой схеме $W_5 = \{Q_i \in A_5/P_{11}\}$ подразделяется соответственно на четыре класса: $W_5^1 = W_5 \cap V_1$; $W_5^2 = W_5 \cap V_2$; $W_5^3 = W_5 \cap V_3$; $W_5^4 = W_5 \cap V_4$.

Логическое условие P_{11} очевидно является соответствующим ограничением для проектирования технических средств автоматизации первой операции.

Сформулируем логическое условие разбиения второго и четвертого классов деталей на подклассы по координатам вектора, характеризующего длину β_1 , ширину β_2 , толщину β_3 , сложность детали β_4 .

Применив подход, используемый при анализе заготовок, получим некоторое условие

$$P = P_1' V P_2' V \dots V P_k',$$

где k — количество координат вектора, характеризующих параметры детали.

Очевидно, что это условие является ограничением при проектировании межоперационной связи во второй и четвертой схемах автоматизации и определяет диапазоны поднастройки оборудования межоперационной связи. Тогда массив деталей для изготовления во второй схеме автоматизации равен $W_2 = \{Q_i \in A/P \wedge P_{11}\}$ и подразделяется на четыре подкласса деталей, определяющих соответствующие подналадки оборудования: $W_2^1 = W_2 \cap V_1$; $W_2^2 = W_2 \cap V_2$; $W_2^3 = W_2 \cap V_3$; $W_2^4 = W_2 \cap V_4$. В свою очередь массив деталей по четвертой схеме равен $W_4 = \{Q_i \in A/P \wedge P_{11}\}$ и также подразделяется на четыре подкласса деталей: $W_4^1 = W_4 \cap V_1$; $W_4^2 = W_4 \cap V_2$; $W_4^3 = W_4 \cap V_3$; $W_4^4 = W_4 \cap V_4$.

Таким образом, методом экспертных оценок все множество деталей разделено на ряд классов по степени возможности и целесообразности автоматизации. Каждому классу поставлена в соответствие своя схема автоматизации, сформулированы логические условия, определяющие ограничения на проектирование элементов, упомянутых в схемах автоматизации, определены диапазоны подналадок. Далее, с помощью тех же логических условий получены массивы деталей и их подмассивы для обработки при помощи соответствующих схем автоматизации. При этом каждому подмассиву ставится в соответствие диапазон подналадки принятой схемы автоматизации.

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ МЕХАНИЗМОВ ШПИНДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ С АВТОМАТИЧЕСКОЙ СМЕНОЙ ИНСТРУМЕНТОВ

Шпиндельный узел металлорежущего станка является одним из основных узлов, определяющих точность и качество обработанной поверхности. Поэтому при проектировании станков к конструкции шпиндельного узла с автоматической сменой инструмента предъявлены следующие требования: безопасность, возможно меньшее время замены инструмента, нераскрытие стыка шпиндель – оправка под действием сил резания, высокая жесткость, заданная долговечность и др.

Анализ конструкций шпиндельных узлов и их работы показывает, что для удовлетворения вышеперечисленных требований конструкторы стремятся:

- разгрузить подшипники шпинделя от сил, возникающих при зажиме и разжиме инструмента;

- уменьшить износ трущихся поверхностей за счет снижения контактных напряжений;

- исключить вытягивание оправки с инструментом при воздействии на инструмент сил резания;

- уменьшить вибрации, возникающие в результате дисбаланса деталей.

Одним из часто встречающихся вариантов конструкции шпиндельных узлов являются узлы с гидравлическими приводами. Однако при попытке решить задачу разгрузки подшипников шпинделя от динамических осевых усилий, возникающих при замене инструмента, конструкция неоправданно усложняется. Этого можно избежать, создав в шпиндельном узле замкнутую систему усилий. Но в свою очередь это приводит к появлению больших вращающихся масс на свободном конце шпинделя, трудно поддающихся балансировке.

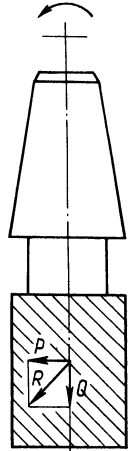
Кроме того, конструкции шпиндельных узлов с гидравлическим приводом, как правило, требуют отдельного замкового механизма, предохраняющего шомпол от осевого перемещения при воздействии сил резания.

Недостатки, присущие гидравлическим системам, устраняет применение электромеханических головок „ПРИЗ“. В таких головках одни и те же конструктивные элементы служат для раскрепления (закрепления) инструментальной оправки и фиксации шомпола. Этими же положительными качествами обладают и приводы механизмов раскрепления (закрепления), работающие путем „самозатягивания“ оправки в шпиндельное гнездо.

В качестве привода механизма закрепления оправки часто используют пакет тарельчатых пружин, опирающихся с одной стороны на выступы в отверстии свободного конца шпинделя, а с другой на гайку, навинченную на шомпол или на подвижный элемент устройства зажима инструмента. Такая конструкция гарантирует необходимое усилие затяжки, но не обеспечивает достаточной жесткости, когда силы резания стремятся вытянуть инструмен-

Рис. 1. Схема сил, действующих на винтовые зубья концевой фрезы с левым направлением канавок:

P — сила сопротивления резанию; Q — осевая сила; R — равнодействующая сила



тальную оправку из шпинделя (рис. 1). Применяется также замковое устройство с шариком, в котором осевая составляющая силы резания воспринимается пакетом пружин, являющихся элементом сравнительно невысокой жесткости.

Таким образом, имеющиеся в настоящее время конструкции шпиндельных узлов с автоматической сменой инструмента или не могут обеспечить высокую жесткость закрепления инструмента, или недостаточно долговечны, или сложны по конструкции и поэтому не находят широкого применения.

На основании изученного материала установлено, что конструкция замкового устройства для крепления инструмента к шпинделю должна обеспечивать компенсацию износа поверхностей контактирующих элементов (воспринимающих рабочие усилия). Кроме того, для снижения контактных напряжений площадка контакта должна быть достаточно большой.

УДК (007.52:62-8).001.2

О.В.КАРАНЧУК, Е.С.ЯЦУРА,
канд. техн. наук (БПИ)

К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОЙ РУКИ АВТОМАТИЧЕСКОГО МАНИПУЛЯТОРА

Наиболее часто разрабатываемым и применяемым узлом в робототехнике является рука, неизменная часть любого промышленного робота (ПР) и автоматического манипулятора (АМ). Рука представляет собой чаще всего шток пневмо- или гидроцилиндра, выдвигающийся под действием рабочей среды в горизонтальной плоскости и несущий на своем конце захватный орган (схват).

Основными параметрами руки манипулятора, определяющими ее качество и эффективность применения, являются погрешность позиционирования Δx , скорость перемещения схвата v и грузоподъемность m при определенных габаритах L и собственной массе M руки. Обеспечение оптимальных значений этих параметров усложняется спецификой конструкции АМ, отличающейся недостаточной жесткостью звеньев механизма, их разомкнутостью, относительно большими ускорениями, возникающими при функционировании АМ, и т. д.

Перечисленные параметры связаны между собой функционально, причем в качестве независимых величин могут выступать любые из них. Рассмотрим, например, влияние грузоподъемности на остальные параметры руки АМ.

Зависимость погрешности позиционирования от грузоподъемности показана на рис. 1.

Скорость перемещения исполнительного органа связана следующей зависимостью с грузоподъемностью и другими параметрами руки:

$$v = \frac{1,4 \sqrt[4]{L \sqrt{\Delta x}}}{\sqrt[3]{m}} \quad (1)$$

Кривые, приведенные на рис. 1, отражают суммарное влияние перемещаемой массы на погрешность позиционирования и скорость. Однако известно,

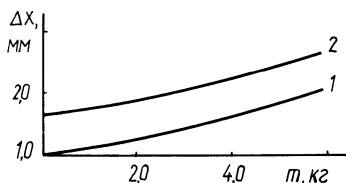


Рис. 1. График зависимости погрешности позиционирования исполнительного органа АМ Δx от переносимой массы m :
1 — $v = 0,5$ м/с; 2 — $v = 0,8$ м/с

что при движении с ускорением перемещаемой массы на поршень действуют составляющие инерции $F_{и}$ и трения $F_{тр}$ возникающей при этом силы F :

$$F = F_{и} + F_{тр}; \quad (2)$$

$$F_{и} = ma = \frac{mV}{t_{т-р}}; \quad (3)$$

$$F_{тр} = fmg \frac{L_0 + L_x}{L_0 - L_x} \cos \alpha, \quad (4)$$

где a — ускорение торможения или разгона; $t_{т-р}$ — время торможения или разгона; f — коэффициент трения между подвижными и неподвижными элементами руки; g — ускорение свободного падения; L_0 — расстояние между крышкой цилиндра и перемещаемым грузом; L_x — величина перемещения груза (ход); $L_0 - L_x$ — расстояние между крышкой цилиндра и поршнем (база).

Следовательно, при анализе влияния переносимой массы на точностные и динамические параметры руки АМ следует рассматривать ее действие через составляющие $F_{и}$ и $F_{тр}$. Уменьшая значение этих составляющих, можно достичь улучшения параметров руки АМ. Рассмотрим пути уменьшения $F_{и}$ и $F_{тр}$.

Из уравнений (2, 3, 4) видим, что это возможно либо за счет уменьшения a в (3), либо за счет уменьшения f , $L_0 + L_x$ или увеличения $L_0 - L_x$ в (4). Уменьшение a приводит к снижению быстродействия АМ и, следовательно, к снижению производительности основного технологического оборудования. Уменьшение f достигается за счет использования специальных материалов в парах трения или применения пар качения, что усложняет конструкцию АМ. Увеличение $L_0 - L_x$ (базы цилиндра) нежелательно из-за возрастания его габаритов.

Наиболее рациональным является уменьшение $L_0 + L_x$ путем применения телескопической руки АМ. На рис. 2,а показана одноступенчатая, а на рис. 2,в — двухступенчатая телескопическая рука АМ. Некоторое усложнение конструкции вполне компенсируется значительным уменьшением $F_{тр}$ (примерно в два раза при двухступенчатом телескопическом цилиндре).

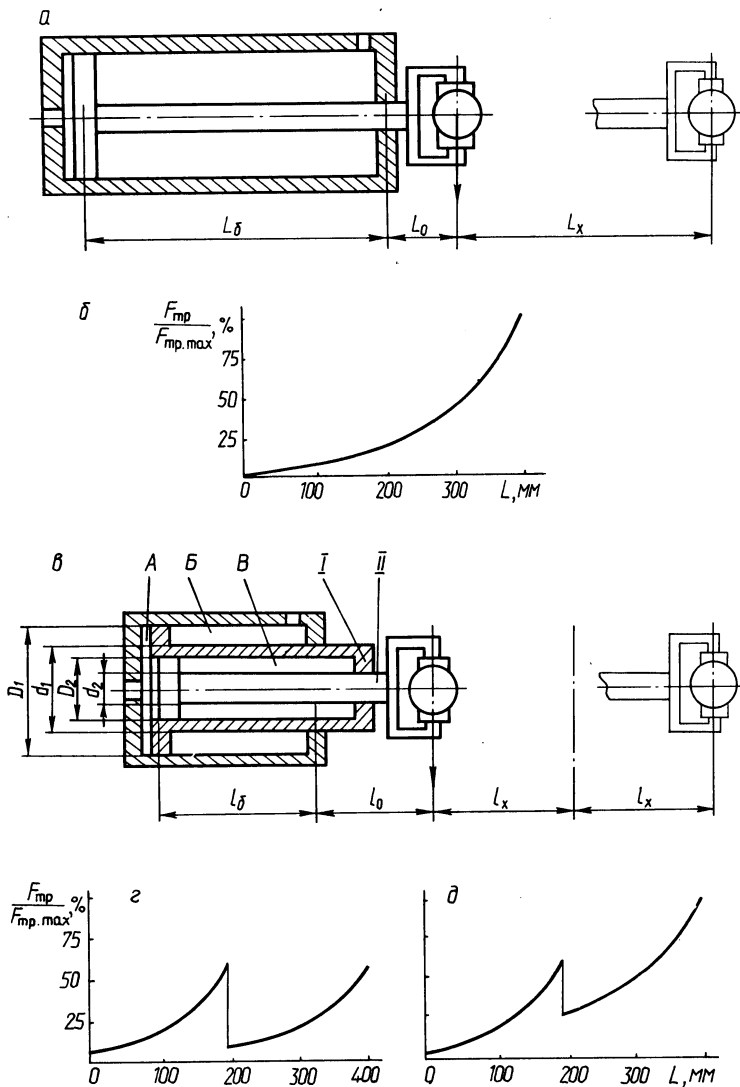


Рис. 2. Графики зависимости силы трения в подвижных соединениях исполнительного органа АМ от величины его выдвигания: а — схема одноступенчатого цилиндра; б — график зависимости силы трения от величины выдвигания для одноступенчатого цилиндра; в — схема двухступенчатого телескопического цилиндра; г — график зависимости силы трения от величины выдвигания для двухступенчатого телескопического цилиндра при выдвигании первой, а затем второй ступеней; д — график зависимости силы трения от величины выдвигания для двухступенчатого телескопического цилиндра при выдвигании второй, а затем первой ступеней

Изменение радиальной нагрузки в паре поршень — цилиндр при перемещении поршня показано на рис. 2,б; 2,г; 2,д, откуда видно, что наименьшие максимальные нагрузки в паре поршень — цилиндр возникают при применении в качестве рук манипуляторов цилиндров телескопического типа и обеспечения определенной последовательности выдвижения и втягивания ступеней цилиндра (выдвигается сначала первая ступень, затем вторая, а втягиваются — наоборот).

Необходимая последовательность выдвижения — втягивания ступеней цилиндра обеспечивается соответствующим соотношением диаметров цилиндров, выбираемых из следующих соображений.

При подаче давления p в полость А (рис. 2,в) воздух из полостей Б и В через дросселирующее устройство (в простейшем случае через воздухопровод) выдавливается под давлением p_1 и p_2 , которые равны соответственно

$$p_1 = p \frac{D_1^2 - D_2^2}{D_1^2 - d_1^2}; \quad p_2 = p \frac{D_2^2}{D_2^2 - d_2^2}. \quad (5)$$

Для того чтобы вначале выдвигалась ступень I, необходимо выполнить условие

$$p_2 > p_1. \quad (6)$$

В этом случае при некотором давлении p в полости А воздух первоначально выходит из полости Б, так как там он находится под большим давлением, чем в полости В, и, следовательно, вначале выдвигается ступень I.

Из зависимостей (5) и (6) найдем, что условием первоочередности выдвижения ступени I является:

$$\frac{D_1^2 - D_2^2}{D_1^2 - d_1^2} > \frac{D_2^2}{D_2^2 - d_2^2}. \quad (7)$$

При подаче давления p в полости Б и В (в полости А при этом возникает противодействие p') на поршни ступеней I и II действуют следующие силы:

$$F_1 = (D_1^2 - d_1^2) p - (D_1^2 - D_2^2) p'; \quad (8)$$

$$F_2 = (D_2^2 - d_2^2) p - D_2^2 p'.$$

Для того чтобы первой втягивалась ступень II, необходимо

$$F_2 > F_1. \quad (9)$$

Учитывая, что $p' < p$, из условий (7) и (8) получим:

$$d_1^2 - D_2^2 > d_2^2. \quad (10)$$

Таким образом, соблюдение условий (7) и (10) позволяет обеспечить необходимую очередность выдвижения ступеней телескопического цилиндра, что приводит к значительному уменьшению нагрузки в трущихся парах.

Погрешность позиционирования в значительной мере зависит от жесткости ПР. Поэтому рассмотрим изменение жесткости руки ПР при применении телескопической конструкции.

Изменения жесткости, связанные с прогибами штока под нагрузкой, аналогичны для телескопического и одноступенчатого цилиндров. Рассмотрим изменение жесткости, связанное с наличием зазоров в подвижных соединениях.

Из рис. 3,а определим отклонение конца штока от среднего положения в выдвинутом состоянии:

$$H = \delta \frac{L_x}{L_6}, \quad (11)$$

где δ — зазор в подвижных соединениях.

В случае телескопической конструкции (рис. 3,б) аналогичная величина будет равна

$$h = \delta \frac{l_x}{l_6} + \delta \frac{2l_x}{l_6} = 3l_x \delta / l_6. \quad (12)$$

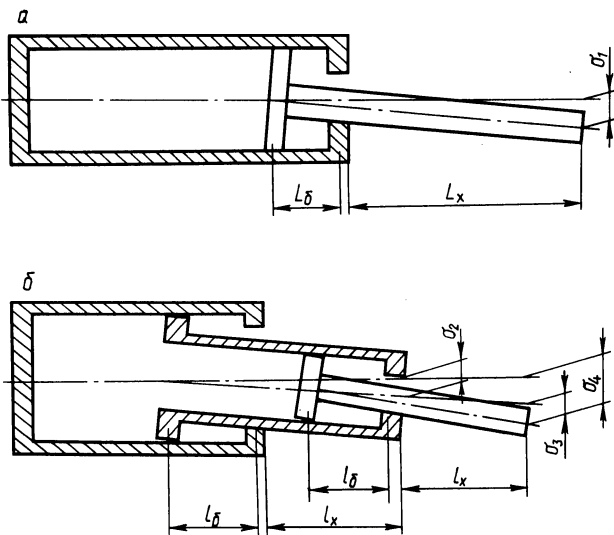


Рис. 3. Схема зазоров в исполнительном органе АМ:
а — одноступенчатый цилиндр; б — двухступенчатый телескопический цилиндр

Для сохранения жесткости телескопического цилиндра, равной жесткости одноступенчатого, примем $h = H$. Тогда, при условии, что $L_x = 2l_x$, получим:

$$l_6 = \frac{3}{2} L_6. \quad (13)$$

Следовательно, для получения жесткости двухступенчатого телескопического цилиндра, равной жесткости одноступенчатого цилиндра, необходимо выполнить условие (13).

Величина базы рук АМ в среднем в 5 раз меньше величины их хода, поэтому увеличение l_6 в 1,5 раза оказывает незначительное влияние на габарит руки при уменьшении l_x в 2 раза.

Таким образом, применение телескопических цилиндров в качестве горизонтально расположенных исполнительных органов манипуляторов позволяет уменьшить их габариты в 1,5...1,7 раз, или, при тех же габаритах, улучшить такие параметры, как грузоподъемность, скорость перемещения и т. д.

КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ, ТРАНСПОРТНЫХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ НАГРУЗОК НА ДЕТАЛИ МАШИН

Точность, с которой воспроизводятся условия эксплуатации, зависит от степени эквивалентности между напряжениями при эксплуатации и при испытаниях. Кроме эксплуатационных нагрузок, детали подвергаются силовым воздействиям в процессе изготовления, сборки, а также во время транспортирования. Характер технологических и транспортных нагрузок в большинстве случаев не совпадает с эксплуатационными как по величине, так и по направлению действия. В связи с тем что степень влияния этих нагрузок на долговечность может быть значительной, при составлении классификации силовых воздействий следует учитывать технологические, транспортные и эксплуатационные условия. На каждом из трех перечисленных этапов может возникнуть воздействие различного характера (статические нагрузки; температурные напряжения; динамические импульсные нагрузки, возникающие от случайных ударов; вибрационные нагрузки, возникающие главным образом при транспортировании и эксплуатации).

Во время каждого из названных силовых воздействий возможна потеря работоспособности машины или прибора. Отказы, при которых нарушается работа машины или прибора в результате поломки, изменения положения деталей, заклинивания, нарушения подачи обрабатываемых деталей и так далее, называются отказами функционирования. Для приборов возможно нарушение заданной точности контроля. Отказы по точности предлагается называть технологическими. Они вызываются износом, температурными воздействиями, загрязнениями, регулировкой и другими причинами. К технологическим относятся также структурные отказы, вызванные сколами измерительных наконечников, выходом из строя электрических, пневматических элементов преобразователей, пригоранием электрических контактов. Еще одна группа технологических отказов связана с грубыми погрешностями приборов, сбоями. Причинами сбоев бывают вибрации, удары, помехи в механических и электрических цепях, несогласованность работы элементов и др.

Классификация силовых воздействий представлена в виде табл. 1. В качестве примера рассмотрены силовые воздействия на детали бытового холодильника во время изготовления, транспортирования и эксплуатации. Возможны 12 вариантов силовых воздействий, основные из них следует проанализировать с точки зрения значения возникающих напряжений и потери работоспособности.

Вариант А1 может иметь место при сборке внутреннего полимерного шкафа с наружным металлическим, когда неизбежны деформации. Если даже деформации не вызывают появление предельных напряжений, то возможно образование дефектов и напряженного состояния, которые вносят заметный вклад в процесс разрушения.

Вариант напряженного состояния А2 возможен при остывании внутрен-

Т а б л и ц а 1

Источник		Время возникновения напряжений				
		при изготовлении	при транспортировке	при эксплуатации		
		А	Б	В		
Источники появления силовых воздействий	статических	1	Сосредоточенные и распределенные силы	Напряжения в полимерных деталях холодильного шкафа при сборке. Напряжения распределяются от вспенивания ППУ	Незначительны	Рабочие нагрузки
		2	Температурные напряжения	При заполнении полостей холодильного шкафа ППУ. Внутренние напряжения	Воздействие низких и высоких температур на элементы из материалов с разными коэффициентами линейного расширения	Воздействие низких и высоких температур на элементы из материалов с разными коэффициентами линейного расширения
	динамических	3	Импульсные	Удары по сборке	Удары, связанные с неровностями дорог, с погрузкой, разгрузкой	Случайные удары, недостаточная амортизация оснований
		4	Вибрационные	Отсутствуют	Вибрации транспортного средства	Вибрации самой машины. Вибрации от соседних машин

него шкафа после вакуумной формовки. Внутренний и наружный шкафы подвергаются температурному воздействию во время заполнения полости между ними теплоизолятором пенополиуретаном (ППУ). Одновременно возникает деформация стенок под действием давления от избытка ППУ в межстеночном пространстве.

Случай АЗ возможен при сборке шкафов, которая сопровождается ударами деревянных молотков. Иногда при значительных деформациях внутреннего шкафа и ударах появляются трещины уже во время сборки.

Наиболее опасен вариант транспортных нагрузок Б3 и Б4, при которых могут возникнуть значительные напряжения. В некоторых случаях дополнительные нагрузки возникают в связи с тем, что при транспортировании для более рационального использования объема транспортного средства положение машины или прибора отличается от того, которое занимают они в процессе эксплуатации. Такие дополнительные нагрузки не всегда могут выдержать некоторые детали машины.

Силовые воздействия Б4 и В4 не вызывают значительных напряжений, но длительность действия их приводит к накоплению микроскопических изменений, приводящих к появлению отказов технологических и функционирования.

Классификация силовых воздействий позволяет выделить основные источники появления напряжений в деталях машин, что необходимо для установления методов расчета на прочность и надежность, а также для разработки методов испытаний отдельных деталей и машин в собранном виде. Напряженное состояние деталей на любом этапе производства и эксплуатации может оказать существенное влияние на потерю функционирования.

Глава IV. ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ЗА СЧЕТ УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ

УДК 621.891

А.Ф.ПРИСЕВОК, канд. техн. наук (БПИ),
Л.В.БОЙКО (ПО „Химволокно“, г. Могилев)

ВОДОРОДНЫЙ ИЗНОС МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Исследование водородного износа изнашиваемых деталей химического оборудования является актуальным, но малоизученным вопросом в проблеме повышения долговечности машин. Опасность наводораживания металлов связана с резким снижением их прочности хрупкими разрушениями, обусловленными „водородным вспучиванием“.

Водород поглощается сталью в форме атомов, которые растворяются в кристаллической решетке железа, превращаясь при этом в протоны с отдачей электронов в обобществленный электронный комплекс металла. Помимо протонов, растворенных в междоузлиях кристаллической решетки (α -фаза), предполагается существование также протонов, связанных электронами, перешедшими с водородных атомов на α -уровни атомов железа (β -фаза).

Образование водорода при трении. В отличие от гальванических, коррозионных и других процессов при трении наводораживание металлов происходит в результате трибохимических процессов распада углеводородов смазки, топлива, пластмасс и прочих углеводородных сред, а также в результате диффузии атомарного водорода под влиянием сопутствующих процессов, вызываемых трением.

Известно, что контактное взаимодействие трущейся пары есть сложный энергетический процесс, когда в зоне контакта развиваются механохимические и физико-химические явления, сопровождающиеся появлением различных продуктов износа: газообразных, жидких, твердых. Среди газообразных продуктов износа имеется существенное количество водорода. Появление водорода в зоне трения металлов с полимерными материалами и металлов в среде смазки обусловлено его присутствием как в полимерных, так и в смазочных материалах в химически связанном состоянии [1–2].

Трение создает физико-химические условия протекания или ускорения реакций, которые в его отсутствие невозможны или идут настолько медленно, что не имеют практического значения. Однако трение вызывает или ускоряет выделение водорода до практических его концентраций только в тех случаях, когда достигнута соответствующая энергия активации металлической поверхности и протекающих на ней процессов адсорбции и хемосорбции углеводородов.

Методика исследования. Для исследования механизма изнашивания рабочих поверхностей деталей агрегатов производства химических волокон и

нитей была спроектирована и изготовлена установка, полностью моделирующая технологический процесс (рис. 1).

В качестве объектов исследования были приняты эталонные стальные образцы, хромированные в электрохимической ванне, и опытные образцы, упрочненные самофлюсующимся сплавом типа ПГ-СР4 (ГОСТ 21448–75). Масса тех и других образцов составляла 875..877 г, толщина нанесенного слоя в первом случае составляла 0,2..0,3 мм, во втором – 0,3..0,35 мм; твердость HRCэ 67..69 и HRCэ 58..62 (соответственно).

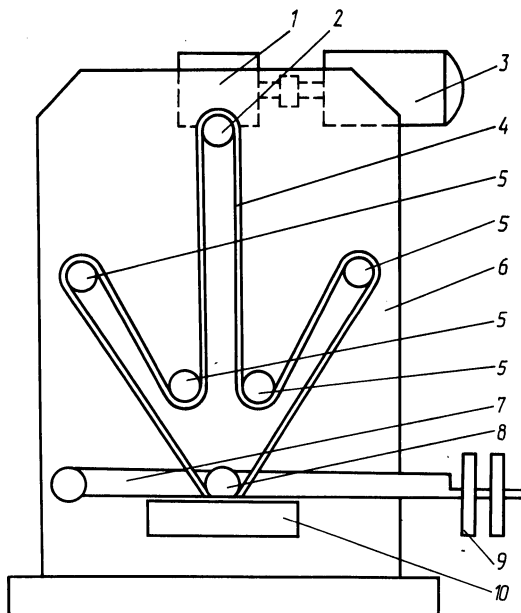


Рис. 1. Принципиальная схема установки для исследования наводороживания образцов при трении со жгутом из химического волокна

Испытываемые образцы (5) жестко крепились гайками на валках, а по их поверхностям протягивали жгут из полиэфирного волокна лавсан 4. Для обеспечения полной идентичности производственному процессу жгут смачивался замасливателем типа „Лауракс-9” (ТУ–6-14-882–73), которым была заполнена ванночка 10. Жгут приводился в движение от электродвигателя 3 и перемещался с заданной скоростью через редуктор 1 и ведущий ролик 2. Требуемое натяжение жгута волокна осуществлялось с помощью натяжителя 7 и грузиков 9.

Продолжительность испытаний составляла 2, 4, 5, 6, 7 и 8 часов. В каждом временном интервале проводилось по пять, шесть опытов. После испытаний образцы промывались водой и помещались в специальный прибор, предназначенный для хранения наводороженных образцов и определения объема выделившихся из них газов. Общее количество газов, выделившихся и собранных в микробюретке прибора, фиксировалось, после чего газовая смесь подвергалась хроматографическому анализу на хроматографе ХЛ-69.

Идентификация пика водорода на хроматограмме (рис. 2) проводилась с применением метода индивидуальных эталонных веществ [3], заключающегося в том, что введение в исследуемую смесь эталонного компонента приво-

дит к увеличению высоты соответствующего пика по сравнению с высотой этого пика на хроматограмме, полученной до введения эталона.

При совершенно одинаковых условиях хроматографирования искусственной смеси (см. рис. 2,а) подвергался анализу воздух (см. рис. 2,б). По времени удержания компонентов газовой смеси пик 1 на рис. 2,б соответствует кислороду, а пик 2 — азоту. Хроматографический анализ чистого воздуха (см. рис. 2,в) показывает, что пик 1 на рис. 2,в и 2,а соответствует одно-

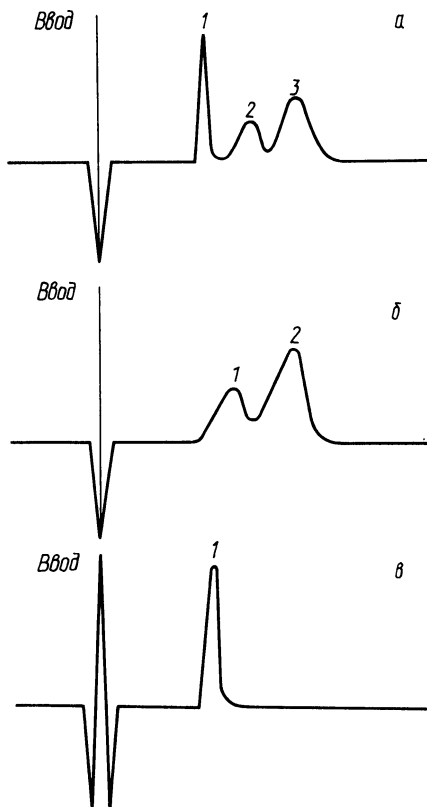


Рис. 2. Хроматограммы исследуемых газов:

а) искусственной смеси газов — 1 — водород, 2 — кислород, 3 — азот; б) воздуха — 1 — кислород, 2 — азот; в) водорода — 1 — водород

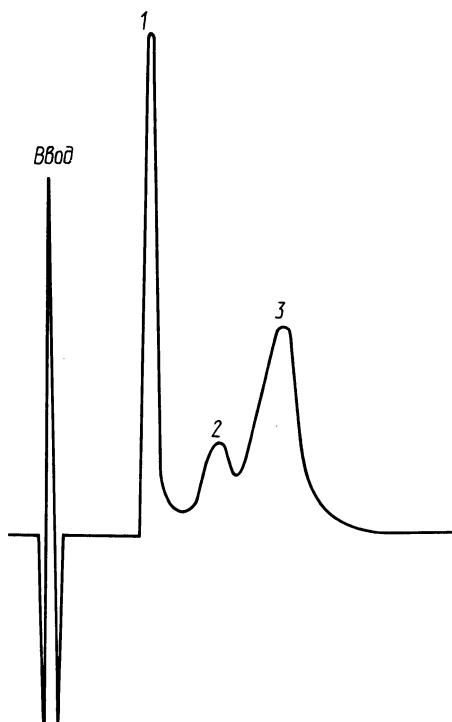


Рис. 3. Хроматограмма исследуемой смеси с введением эталонного вещества — водорода:

1 — водород; 2 — кислород; 3 — азот

му и тому же веществу, т. е. водороду. Это подтверждается и хроматограммой, показанной на рис. 3. Добавление чистого водорода к искусственной смеси газов (водород, кислород, азот) приводит к резкому увеличению пика 1, принадлежащего водороду.

Для количественного определения выделившегося водорода использован метод абсолютной калибровки по высотам пика [3].

Для построения калибровочного графика готовились искусственные смеси водорода и воздуха с определенным процентным содержанием водорода. Приготовление и анализ искусственных смесей и исследуемых газообразных проб проводились при одинаковых условиях с учетом поправок на температуру и давление. Калибровочный график представлен на рис. 4. Точность анализа составляет $\pm 1\%$ объема смеси газов. По оси абсцисс графика откладывалось процентное содержание водорода, содержащегося в объеме газовой смеси, выделившейся из исследуемых образцов. По оси ординат определялась высота пика водорода h (мм) в зависимости от его процентного содержания в смеси.

Разработанная методика исследования и созданная модель изнашивания позволили установить, что в зоне трения химических волокон и деталей происходят механохимические явления, сопровождающиеся выделением атомарного водорода. Выделившийся водород поглощается металлом, в результате чего последний разрушается (наблюдается „водородное вспучивание“).

Лабораторные испытания позволили провести исследование ряда металлов и сплавов и выявить из них наиболее пассивный к водородной проницаемости, т. е. наиболее износостойкий. На данном этапе исследований таким материалом явился сплав ПГ-СР4 (ГОСТ 21448–75), который оказался в 3,5 раза более износостойким, чем хромированные стали.

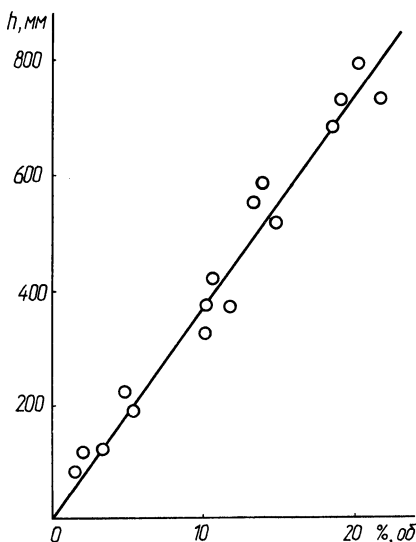


Рис. 4. Калибровочный график количественного определения водорода в смеси газов по высотам пика

ЛИТЕРАТУРА

1. Механохимические процессы, происходящие при трении пары металл — полимер / А.Ф.Присевок, Г.М.Яковлев, Л.В.Бойко и др. — В сб.: Машиностроение. Минск, 1981, вып. 6, с. 48–51. 2. Защита от водородного износа в узлах трения / Под ред. А.А.Полякова. — М., 1980. — 135 с. 3. Гольберт К.А., Вигдерегауз М.С. Курс газовой хромотографии. — М., 1974. — 187 с.

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОКРЫТИЯХ ИЗ САМОФЛЮСУЮЩИХСЯ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

Из большого числа различных методов определения внутренних напряжений наиболее разработаны механический для определения остаточных напряжений 1-го рода и рентгенографический для определения внутренних напряжений преимущественно 2-го и 3-го рода. Следует отметить, что рентгенографический метод имеет пониженную точность при работе с сильно деформированными и крупнозернистыми материалами.

В указанных случаях следует применять механический метод для исследования остаточных напряжений 1-го рода. Сущность его заключается в следующем: остаточные напряжения взаимно уравновешены внутри тела; при удалении части материала равновесие нарушается, так как вместе с удаленным слоем удаляются и остаточные напряжения, существующие в этом слое, при этом происходит упругая деформация образца. По замерам возникающих деформаций образца судят об остаточных напряжениях в снимаемых слоях.

Разновидностью механического метода является химическое электро травление (электрополирование). Этот метод был использован при разработке конструкции устройства для определения остаточных напряжений. Он позволяет применить для измерения малых деформаций образца, возникающих в процессе травления его поверхностных слоев, емкостный датчик компенсационного типа.

Принцип измерения остаточных напряжений основан на регистрации деформации плоского образца, помещенного в ванну для травления, когда по мере стравливания напряженных слоев изменяются прогиб образца и расстояние между пластинами конденсатора переменной емкости. Изменение емкости датчика приводит к изменению на выходе измерителя постоянного напряжения, которое усиливается дифференциальным усилителем. Эти показания регистрируются гальванометром и могут быть одновременно записаны самописцем. Измерительная цепь подключена к сетевому источнику питания со стабилизатором напряжения. В устройстве использовался в качестве регистрирующего и записывающего прибора самописец типа НЗ99.

Устройство работает следующим образом (рис. 1). Образец 10 (плоскую пластину исследуемого материала) помещают в специальную стеклянную ванночку 9 с электролитом, удерживая в заданном положении держателями 2. В центр образца упирается измерительный стержень 1, к которому прикреплена нижняя пластина 7 конденсатора. Предварительный натяг стержня 1 обеспечивается пружиной 8. Верхняя пластина 6 конденсатора жестко связана с микрометрическим винтом 5, укрепленным в верхней чашке 4 корпуса датчика. Для уменьшения паразитных наводок в непосредственной близости от емкостного датчика расположен измеритель емкости 3, соединенный с ним экранированным проводом. Свинцовый катод 11 соединяется с

отрицательным полюсом выпрямителя тока, образец — с положительным. В схему последовательно включен реостат для поддержания постоянной силы тока в процессе травления.

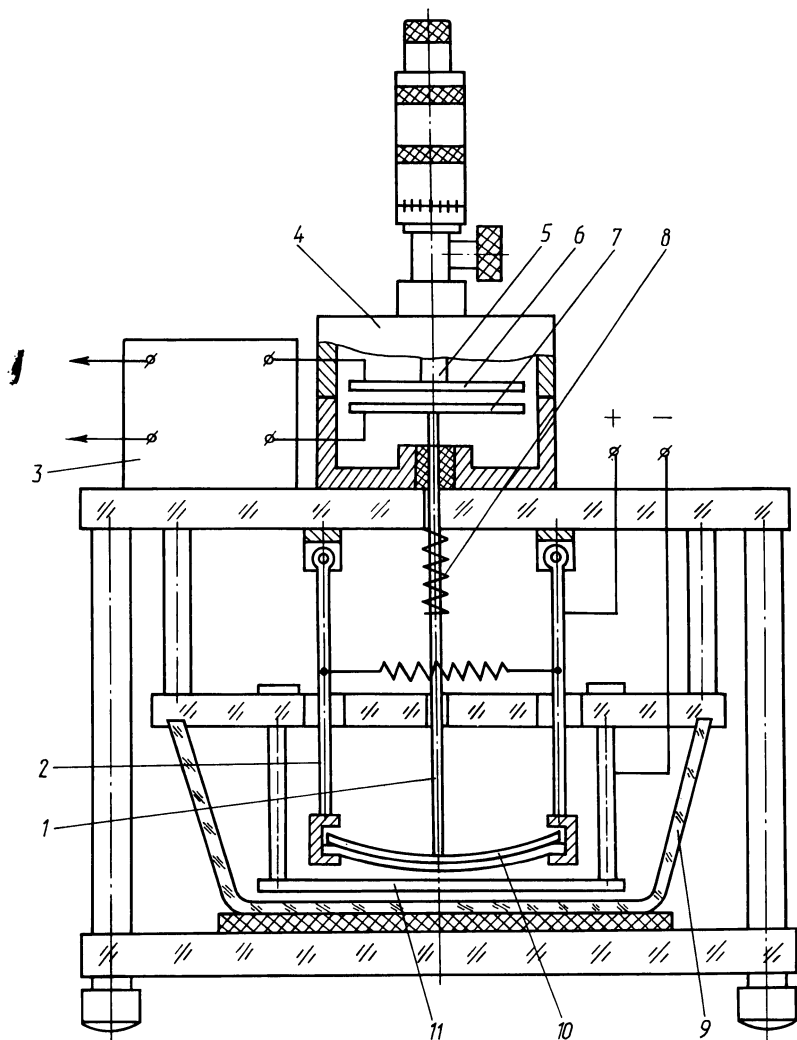


Рис. 1. Устройство для определения остаточных напряжений

Электролит для травления состоял из восьми частей (по объему): пяти частей ортофосфорной кислоты, двух частей серной кислоты и одной части воды. Режимы травления: плотность тока 35 A/дм^2 при напряжении 15 В.

В настоящей работе проводилось исследование плоских образцов прямоугольного поперечного сечения шириной 10 мм, длиной 100 мм, толщиной основы 0,5; 1,5; 3; 6 мм (по 3 образца каждой толщины). Материал осно-

вы — сталь 12X18H10T. Покрытие на образцах — самофлюсующийся твердый сплав ПГ-СР3 ГОСТ 21448—75.

Электротравлению подвергалось только покрытие, остальные поверхности образцов были защищены от травления цапон-лаком. Высота слоя покрытия, снятого во время электротравления, определялась путем измерения микрометром высоты образца до и после травления.

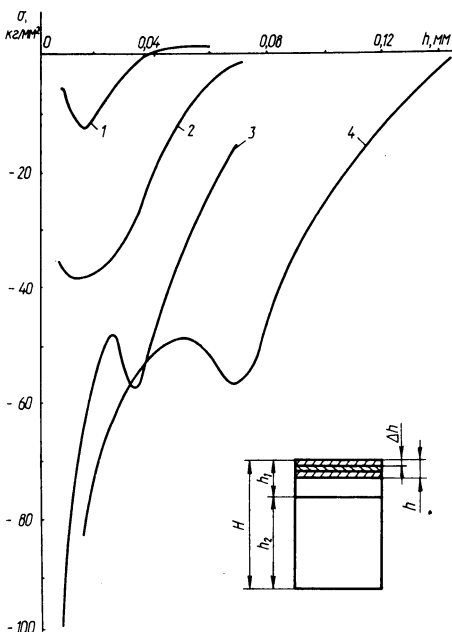
Тарировка шкалы и установка стрелки самописца производилась с помощью микрометрического винта. Если при электротравлении образца показания самописца остаются без изменения, то слой материала, в котором были остаточные напряжения, регистрируемые измерительным устройством, снят. После этого электротравление прекращалось.

Так как травление каждого образца (при заданном режиме электротравления) идет с постоянной скоростью, то, зная время травления, можно определить зависимость деформации образца от высоты стравленного слоя без замеров их толщины.

Для удобства определения зависимости остаточных напряжений от высоты стравленного слоя последний был разделен на 10 равных частей. Если обозначить толщину каждой части Δh , то им будут соответствовать деформации $\Delta f_1, \Delta f_2, \Delta f_3, \dots, \Delta f_{10}$.

Остаточные напряжения в каждом стравленном слое определялись по формуле Н.Т.Давиденкова и Е.М.Шевандина [1], которая с достаточной для практики точностью была упрощена К.С.Колевым [2]:

$$\sigma = \frac{4E\Delta f(H-h)^2}{3l^2\Delta h} - \frac{4E}{l^2}(H-2h+\Delta h)f,$$



где E — модуль упругости; f — суммарный прогиб образца при снятии всех слоев; Δf — изменение прогиба при снятии слоя высотой Δh ; H — высота образца; l — длина образца; h — суммарная высота стравленного слоя.

Однако, учитывая разные значения модулей упругости материала основы и материала покрытия, в приведенной выше формуле значение E соответствовало приведенному модулю упругости, вычисленному по формуле [3]:

$$E = \frac{E_o l_o + E_n l_n}{l_{об}}$$

Рис. 2. Распределение остаточных напряжений в образцах из стали 12X18H10T, упрочненных сплавом ПГ-СР3: 1 — $h_2 = 0,5$ мм; 2 — $h_2 = 1,5$ мм; 3 — $h_2 = 6,0$ мм; 4 — $h_2 = 3,00$ мм

где E_0, E_n — модуль упругости материала основы и покрытия; $I_0, I_{об}$ — момент инерции сечения материала основы без покрытия и с покрытием; I_n — момент инерции сечения материала покрытия.

Результаты данных расчетов представлены в виде графиков зависимостей остаточных напряжений от глубины стравленного слоя (рис. 2).

Анализ графиков показывает, что с увеличением толщины основы остаточные напряжения увеличиваются. Остаточные напряжения в покрытиях на данном материале основы являются сжимающими, что обусловлено большим коэффициентом термического растяжения у материала основы, чем у покрытия.

Остаточные напряжения в покрытии из самофлюсующегося твердого сплава имеют несколько большие значения, чем остаточные напряжения после упрочняющей термической обработки, например в стали с содержанием углерода 0,3 % после закалки в воде измеренные остаточные напряжения достигали 800 МПа [4].

Разработанное устройство по определению остаточных напряжений при проведении исследований обеспечивает надежную работоспособность и стабильные результаты измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д а в и д е н к о в Н.Т., Ш е в а н д и н Е.М. Исследование остаточных напряжений, создаваемых изгибом. — ЖТФ, 1939, т. 9, вып. 12, с. 37—39.
2. К о л е в К.С. Вопросы точности при резании металлов. — М.—Киев, 1961, с. 80—87.
3. С б р и ж е р А.Г., М а н о й л о Е.Д., Б о н д а р е в Е.А. Остаточные напряжения при упрочнении стальных деталей самофлюсующимися сплавами. — Сварочное производство, 1979, № 5, с. 9—11.
4. Термическая обработка в машиностроении: Справочник / Под ред. Ю.М.Дахтина, А.Г.Рахштада. — М., 1980. — 238 с.

УДК 621.793.72

Н.В.СПИРИДОНОВ, канд. техн. наук,
Н.И.ЛУЦКО (БПИ)

ПОЛУЧЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ ИЗ КЕРАМИКИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫМ НАПЫЛЕНИЕМ С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКОЙ

Для нанесения керамических покрытий до недавнего времени применялось преимущественно плазменное напыление. В последнее время возможности газопламенного напыления возросли за счет увеличения энергетических характеристик газокислородной струи. Это достигается применением газовых дюз для обжатия факела. Такие конструкции горелок позволяют напылять керамические материалы с температурой плавления до 2200 °С и достигать практически такой же прочности сцепления и коэффициента использования порошка, как при плазменном напылении.

Главными задачами, стоящими при напылении керамики, являются снижение хрупкости покрытия и повышение прочности сцепления с подложкой.

Чтобы предотвратить отслоение покрытий, происходящее из-за большой разницы в коэффициентах термического расширения напыленной керамики и стальной подложки, применяют три способа. По первому вначале напыляют порошок из металла основы, затем к нему постепенно добавляют керамический материал, а количество порошка металла основы убавляют и, наконец, переходят к напылению чистой керамики [1]. По второму способу покрытие армируют волокнами вольфрама или молибдена. Благодаря этому наблюдается изменение коэффициента термического расширения покрытия и увеличение его теплопроводности. Это приводит к выравниванию температурных полей, снижению термических напряжений, и в результате отслоение покрытия предотвращается [2].

По третьему способу напыление керамики ведут на предварительно напыленный подслоя из металла или сплава с коэффициентом термического расширения, имеющим промежуточное значение между коэффициентом термического расширения покрытия и основы. В качестве подслоя используют следующие материалы: NiCr, NiAl, NiCrAl, Mo [3, 4].

В настоящей работе с целью получения прочных износостойких покрытий исследовались возможности напыления керамических материалов с последующей обработкой их лазером.

Для проведения исследований была выбрана широко применяемая окись алюминия Al_2O_3 . Грануляция порошка составляла 0,02...0,05 мм. Напыление производилось плазменным и газоплазменным методами на установках УПУ-ЗД и ТРУ-БПИ (газопламенная установка, разработанная в Белорусском политехническом институте), при этом часть образцов напылялась с подслоем, а часть без него. В качестве подслоя на плоские образцы напылялся порошок NiAl. Толщина подслоя выдерживалась в пределах 0,08...0,1 мм при общей толщине покрытия не более 1,0 мм. В качестве подготовки поверхности использовалась дробеструйная обработка стальной дробью.

Замечено, что на образцах, на которые перед напылением керамики наносился подслоя, отслоений покрытий не наблюдалось; на образцах, напыленных без подслоя, они возникали довольно часто. Несколько реже наблюдалось отслоение у образцов, напыленных плазменным методом, что объясняется более высокими температурой и скоростью плазменной порошковой струи и соответственно более высокой прочностью сцепления керамического покрытия с основой. Коэффициент использования порошка при плазменном напылении по этой же причине также был несколько выше, что вызывает необходимость доработки конструкции газопламенной горелки специально для напыления керамики.

После проведения напыления часть образцов обрабатывалась лазером на CO_2 в непрерывном излучении (поверхностная плотность 10^4 Вт/см², скорость относительного перемещения 700 мм/мин). Обработка велась зонами шириной 1,5...2 мм при шаге 6...8 мм. Глубина обработанной лазером зоны не превышала 0,3...0,5 мм, при этом в керамическом слое образовывалась канавка, а вокруг нее наблюдалось значительное уплотнение покрытия и сильная диффузия покрытия и основы (или подслоя). Все упрочненные образцы шлифовались эльборовым кругом со съемом слоя толщиной приблизительно 0,1 мм. После этого все образцы испытывались на износ по ускоренной методике на установке торцевого трения при контактном давлении 11 МПа и ско-

рости скольжения 0,333 м/с. Износ определялся при помощи профилографа-профилометра модели 252.

Ускоренные испытания на износостойкость предварительно показали, что износ образцов, обработанных лазером, примерно в 1,5...2 раза ниже, чем у образцов, не проходивших лазерную обработку. Это позволяет предположить, что обработка лазером способствует лучшему схватыванию покрытия с основой и улучшению его физико-механических свойств. Кроме того, очевидно, образованные лазером канавки являются своеобразным накопителем продуктов износа, оказывающих наиболее сильное влияние на интенсивность изнашивания, и одновременно смазочными карманами, что значительно повышает износостойкость покрытия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпинос Д.М., Зильберберг В.Г. Повышение прочности сцепления плазменных покрытий с деталью. — Порошковая металлургия, 1972, № 3, с. 106—107.
2. Карпинос Д.М., Зильберберг В.Г., Клименко В.С. Плазменные армированные керамические покрытия. — В сб.: Защитные высокотемпературные покрытия. Л., 1972, с. 100—106.
3. Messbacher A. Thermisches Spritzen im Fludtriebwerkbaue. — Werkstattstechnik, 1975, № 10, p. 619—624.
4. Randa swamy S., Her man H., Sa fa i S. Thermal expansion study of plasma-sprayed oxide coatinds. — Thin Solid Films, 1980, № 1, p. 43—52.

УДК 621.785

О.С.КОБЯКОВ, канд. техн. наук,
Е.Г.ГИНЗБУРГ, Н.Я.ШЛЯХТЕНКО (БПИ)

ЗОННОЕ УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Современные источники нагрева, такие как: лазерный, плазменный, электронный позволяют концентрировать значительную тепловую мощность на ограниченной поверхности упрочняемых деталей. Интенсивный отвод тепла от малой массы нагретого металла способствует большим скоростям охлаждения (до $10^4 \dots 10^7$ °С/с) через теплопроводящую подложку, что приводит к возникновению ряда фазовых, структурных и аллотропических превращений, обуславливающих резкое повышение прочностных и износостойких свойств металла.

Нами исследован процесс упрочнения поверхности сталей путем зонной закалки в твердой фазе и из жидкого состояния с помощью газового разряда, формирующего локальную зону нагрева диаметром $(1 \dots 1,5) 10^{-3}$ м. При упрочнении наибольший интерес представляют процессы, основанные на фазовых превращениях, происходящих при резком охлаждении металла и приводящих к образованию мартенситной структуры.

Игольчатое строение мартенсита, его высокая твердость (HRC₃ 63...67) являются одной из причин повышенной износостойкости мартенситного слоя. Сильная взаимная разориентация межатомных плоскостей кристаллов мартенсита затрудняет их взаимное перемещение и оказывает большое сопротивление пластической деформации. Кроме того, разориентация плоскостей соз-

дает мозаичную структуру, нарушающую регулярность решетки и равновесное взаимодействие между атомами, что препятствует перемещению дислокаций. Большое число „закрепленных” дислокаций способствует повышению прочности металла.

Оптимальные режимы зонного нагрева получены в результате математического планирования эксперимента. В качестве комплексной характеристики Y приняты параметры упрочняемой поверхности, включая значения микротвердости, глубины, упрочненного слоя и получаемого рельефа поверхности. За параметры, влияющие на характеристику Y , приняты: X_1 – ток дугового разряда (А), X_2 – скорость перемещения зоны нагрева (м/с), X_3 – расход разрядного газа (м³/ч), X_4 – расход защитного газа (м³/ч). Обозначив область определения параметров буквой D , а границу области буквой Ω , выразим D в виде:

$$\left\{ \begin{array}{ll} 5A \leq X_1 \leq 25A; & 1 \leq X_3 \leq 10; \\ 0,00017 \text{ м/с} \leq X_2 \leq 0,014 \text{ м/с}; & 0 \leq X_4 \leq 100. \end{array} \right\}$$

Для нахождения максимума функции Y исследовали ее на экстремум внутри области D и на ее границе Ω . Затем выбирали наибольший из максимумов, которого достигает Y внутри D и на Ω . Решение задачи осуществлялось с привлечением планирования многокомпонентного эксперимента, а выполнение опытов – с учетом матрицы планирования полного факторного эксперимента (2^4), что позволило построить математическую модель процесса вида:

$$\begin{aligned} Y = & 12,0432 - 0,4856 X_1 - 0,0008 X_2 - 0,6672 X_3 - 0,012 X_4 + \\ & + 0,0007 X_1 X_2 + 0,041 X_1 X_3 + 0,002 X_1 X_4 - 0,0001 X_2 X_3 - \\ & - 0,0001 X_2 X_4 + 0,0077 X_3 X_4 - 0,00001 X_1 X_2 X_3 - 0,0005 X_1 X_3 X_4 + \\ & + 0,000004 X_2 X_3 X_4 + 0,000002 X_1 X_2 X_4. \end{aligned}$$

Проверка согласия теоретических значений характеристики с опытными данными показывает, что модель адекватно описывает эксперимент с 5%-ным уровнем значимости. Дальнейшее решение задачи оптимизации сводится к построению и исследованию системы уравнений вида:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial Y}{\partial X_1} = 0; \\ \frac{\partial Y}{\partial X_2} = 0; \\ \frac{\partial Y}{\partial X_3} = 0; \\ \frac{\partial Y}{\partial X_4} = 0. \end{array} \right.$$

В результате ее решения получены следующие данные: $X_1 = 3,5$ А, $X_2 = 0,00897$ м/с, $X_3 = 2,128$, $X_4 = 15,76$, $Y_1 = 9,3735$, где Y_1 – максимальное значение Y в области D .

Рассчитав значения Y на Ω , получим, что $Y_2 = 15,375$ есть максимальное значение Y на Ω , при $X_1 = 25$ А, $X_2 = 0,0142$ м/с, $X_3 = 1$, $X_4 = 100$. Из двух значений Y_1 и Y_2 выбираем наибольшую величину $Y = 15,375$, а в качестве оптимальных параметров процесса – следующие значения: ток дугового раз-

Таблица 1

Сталь	Химический состав (по массе) , %						Микротвердость, МПа	
	C	Si	Mn	Cr	W	V	исходная	после закалки
10	0,07 0,14	0,17 0,37	0,35 0,65	—	—	—	2400	5000
45	0,42 0,50	0,17 0,37	0,50 0,80	—	—	—	2800	13000
40X	0,46 0,54	0,17 0,37	0,50 0,80	0,80 1,10	—	—	3500	8240
40X13	0,36 0,45	до 0,80	до 0,80	12 14	—	—	4000	5000
У8	0,75 0,85	0,15 0,35	0,20 0,40	до 0,20	—	—	3220	13000
9ХС	0,85 0,95	1,00 1,60	0,30 0,60	0,95 1,25	—	—	3600	13000
ХВГ	0,95 1,05	0,15 0,35	0,60 0,90	0,60 1,00	0,50 0,80	0,05 0,15	3600	10000
Х12	2,00 2,20	0,15 0,35	0,15 0,40	11,5 13,0	—	—	4500	8240

ряда — 25 А, скорость перемещения зоны нагрева — 0,0142 м/с, расход защитного газа — 0,13 м³/ч, расход разрядного газа — 0,01 м³/ч. На основании математического планирования эксперимента исследован процесс закалки ряда сталей (табл. 1). Замерами микротвердости на приборе ПМТ-3 при нагрузке 1 Н и времени выдержки 5 с показано, что микротвердость закаленного слоя не однородна как по глубине, так и по ширине упрочняемых дорожек. Как видно из графика (рис. 1, а), микротвердость по глубине закаленного слоя имеет максимальное значение у поверхности, а затем происходит плавный спад до минимального значения с небольшим последующим возрастанием. Распределение микротвердости по ширине упрочняемой дорожки (рис. 1, б) носит симметричный характер и может быть описано нормальным законом распределения.

Процесс закалки приводит к возникновению перемещающегося температурного фронта с резко изменяющимся температурным градиентом (от расплава к подложке) с наличием ярко выраженного фронта плавления и кристаллизации. Высокие скорости охлаждения (до 10⁴...10⁵ °С/с) малой массы расплава создают условия для переохлаждения металла, что может приводить к неравномерности процессов кристаллизации, периодичности физико-механических и структурных свойств металлов [1]. Однако периодичность кристаллизации при использовании газового дугового разряда может вызываться неравномерностью перемещения анодного пятна. Наличие ряда структурных зон, полученных в результате упрочнения, хорошо прослеживается с помощью металлографического анализа, проведенного с использованием микроскопов МИМ-8 и „Epiгnost“. Тонкая структура поверхности исследована при увеличении (х 1800) с помощью электронного сканирующего микроскопа фирмы „Jeols“. Как видно из рис. 2, на поверхности металла сформировалась структура мелкодисперсного игольчатого мартенсита с размером отдельных кристаллов порядка 2 мкм, а ниже участки, со-

стоящие из мартенсита и ферритно-цементитных включений. Структура зоны, расположенной еще ниже, состоит в основном из зернистого перлита, а основа — из перлитно-ферритной фазы.

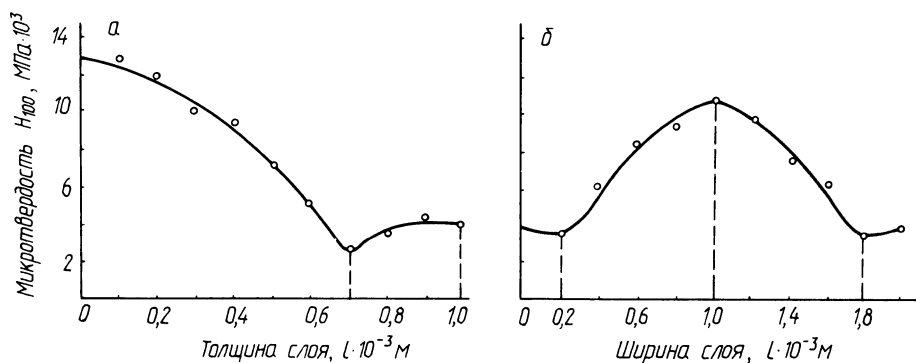


Рис. 1. Характер распределения микротвердости в упрочненном слое: а) по глубине слоя; б) по ширине слоя

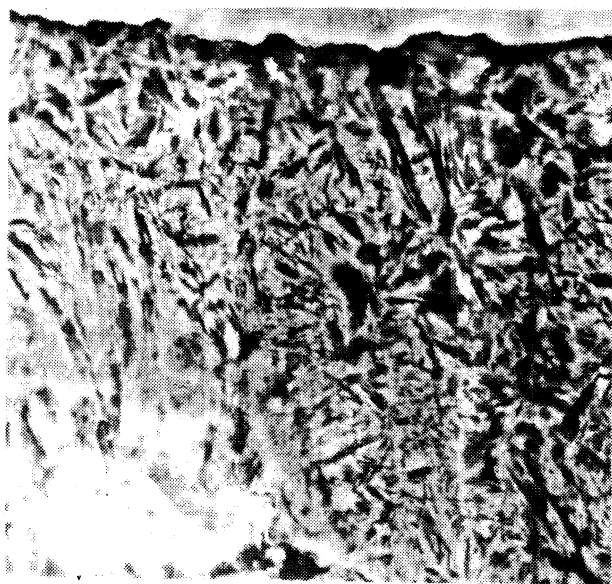


Рис. 2. Структура поверхностного слоя стали 45 после зонно-дугового упрочнения (x1800)

Топография оплавленной и упрочненной поверхности, исследованная с помощью „профилографа-профилометра 220“, представляет рельеф, состоящий из чередующихся гребней и впадин с перепадом 0,0001 м. Среднее значение микротвердости лежит в пределах 11000...13000 МПа, причем, максимальной твердостью обладают гребни. При упрочнении без оплавления значение микротвердости не превышает 10000 МПа, однако шероховатость поверхности соответствует Ra 0,32.

Как видно из табл. 1, с повышением содержания углерода до 0,45 % (по массе) значение микротвердости возрастает от 5000 до 13000 МПа. Дальнейшее увеличение содержания углерода не приводит к существенному росту микротвердости. Введение легирующих элементов, таких как Cr, Mn, W, снижает микротвердость. В случае легированных сталей большое значение при упрочнении играют вводимые примеси, которые приводят к повышению или понижению критических скоростей закалки, а следовательно, к различным значениям микротвердости.

Сравнительная оценка износостойкости упрочненных сталей показала, что зонно-плазменное упрочнение, например стали 45, позволяет в 2...3 раза повысить износостойкость по сравнению с объемно-закаленной сталью.

Таким образом, использование локального дугового нагрева при зонной закалке стали из жидкого состояния или в твердой фазе позволяет многократно увеличить прочностные свойства и износостойкость стали и использовать микродуговой нагрев при упрочнении деталей машин.

ЛИТЕРАТУРА

1. К о б я к о в О.С., М и х а й л о в С.М., П е т у ш к о в Е.Е. Исследование примесной неоднородности в молибденовых монокристаллах. — В сб.: Монокристаллы тугоплавких и редких металлов, сплавов и соединений. М., 1977, с. 23—27.

УДК 621.793

Е.А. БОНДАРЕВ, Н.И. ЛУЦКО,
Е.С. ЛЕКАРЧИК (БПИ)

ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ФАКТОРОВ НА КОЭФФИЦИЕНТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОРОШКА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ГОРЕЛКИ ДЛЯ ГАЗОПЛАМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ

Применение пропан-бутана в качестве энергообразующего газа накладывает повышенные требования к соблюдению технологических параметров процесса газопламенного напыления. Это связано с тем, что мощность пропан-кислородного пламени ниже, чем ацетиленокислородного, и отклонение от номинальных режимов напыления оказывает более выраженное влияние на коэффициент использования порошкового материала и производительность процесса.

В предлагаемой статье приводятся результаты экспериментов, позволяющие продемонстрировать влияние некоторых факторов, нарушение которых приводит к снижению эффективности процесса газопламенного напыления.

Для проведения исследований использовалась термораспылительная горелка ТРГ-БПИ. В качестве рабочих газов применялись пропан-бутан и кислород, а для транспортировки порошка — сжатый воздух.

Напыление образцов из конструкционной стали 45 проводили отсеянным до грануляций 50, 100 и 150 мкм порошком марки ПГ-Ср40М, ГОСТ

21448—75, в одном случае просушенным при температуре 150 °С в течение 1 ч, а во втором случае — в состоянии поставки.

Производительность процесса и коэффициент использования просушенного порошка (рис. 1) выше, чем при напылении порошка в состоянии поставки соответственно на 10 Н/ч по производительности и на 10 % по коэффициенту использования порошка. Причиной этого является повышенная влажность непросушенного порошка, которая снижает его сыпучесть, влияющую на производительность аппарата с инъекционной подачей порошкового материала. Кроме того, влажный порошок не нагревается в пламени до необходимой температуры, от чего снижается коэффициент его использования и качество покрытия, пористость которого увеличивается.

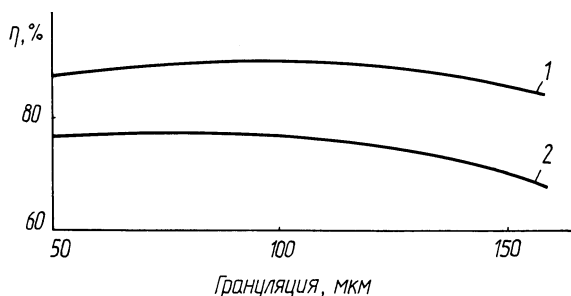


Рис. 1. Влияние подготовки порошка на коэффициент его использования:

1 — просушенный порошок;
2 — порошок в состоянии поставки

Применение азота для транспортировки порошка и обжата пропан-кислородного пламени приводит к снижению коэффициента использования порошка на 25...30 % по сравнению с обжатием воздухом.

Это связано с тем, что для полного сгорания пропан-бутана требуется в 2,5 раза больше кислорода, чем при сгорании ацетилена, и, несмотря на то что подача кислорода увеличена, окислителя все же не хватает.

Приток кислорода из обжимающего пламя сжатого воздуха способствует полному сгоранию смеси, так как соотношение горючего газа и кислорода приближается к норме, в то время как обжимающий пламя азот изолирует его от окружающей среды.

При проведении исследований для транспортировки порошка и обжата пламени применялся осушенный и очищенный от масла воздух, так как использование нефильтрованного воздуха приводит к снижению коэффициента использования порошка на 3...4 %.

На коэффициент использования порошка оказывает влияние и количество подаваемого в пламя порошка. Исследованиями и расчетами установлено, что максимально допустимая производительность установки ТРУ-БПИ при работе на пропан-бутане не должна превышать 50...60 Н/ч, так как дальнейшее увеличение подачи порошка в пламя приводит к существенному снижению коэффициента использования порошка и качества напыляемого слоя, а это ведет к снижению эффективности процесса.

РЕНТГЕНОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СПЛАВОВ Ni—Cr—B—Si

При плакировании самофлюсующимися твердыми сплавами после напыления порошка производится оплавление нанесенного покрытия. При этом деталь разогревается до температуры плавления покрытия, что приводит к возникновению температурных деформаций. Применение лазерного излучения позволяет получать высокую концентрацию энергии на поверхности по-

Т а б л и ц а 1

Фаза	Межплоскостное расстояние			
	сплав ПГ-СР4 неоплавленный	сплав ПГ-СР4 после оплавления газо- пламенной горелкой	сплав ПГ-СР4 после лазерной обработки	теоретическое
Ni	2,0316	2,0359	2,0490	2,04
	1,7649	1,7649	1,7681	1,7619
	1,2480	1,2494	1,2521	1,2480
	1,066	1,0645	1,0690	1,0630
	1,0199	1,0207	—	1,018
	—	—	0,08115	0,8120
	—	—	0,7981	0,7910
Ni ₃ C	—	—	2,5495	2,521
	2,0216	2,0359	2,0490	2,026
	1,7338	1,7338	1,7338	1,731
	—	1,5802	—	1,573
	1,2991	1,2494	1,2521	1,242
Ni ₃ B	—	2,4487	2,4617	2,424
	—	2,2594	2,2703	2,24
	—	2,1366	2,1511	2,12
	—	1,9411	1,9450	1,933
	—	1,8661	1,8519	1,855
	1,8484	1,8484	—	1,844
	1,7649	1,7378	—	1,7630
Cr ₅ B ₃	—	1,6314	1,6421	1,624
	—	3,1535	3,1644	3,124
	—	2,4487	2,6749	2,661
	—	2,0145	—	2,011
	—	1,7338	1,7338	1,727
	—	1,098	1,098	1,095
CrB	—	1,0690	1,0690	1,064
	—	2,3679	2,3679	2,35
	—	1,973	1,973	1,975
	—	1,6421	1,6421	1,632
	—	1,2521	1,2521	1,255
	—	1,1715	1,1715	1,175
CrBO	—	1,1098	1,1098	1,1098
	—	3,1535	3,1644	3,28
	1,9689	1,973	1,973	1,960
	1,8697	—	1,8733	1,900

Фаза	Межплоскостное расстояние			теоретическое
	сплав ПГ-СР4 неоплавленный	сплав ПГ-СР4 после оплавления газо- пламенной горелкой	сплав ПГ-СР4 после лазерной обработки	
Cr ₂₃ C ₆	2,3679	2,3619	2,3679	2,375
	2,0623	2,1366	2,1511	2,168
	2,0316	2,0359	2,0490	2,044
	1,8697	1,8661	1,8733	1,878
	—	1,6894	1,6881	1,680
	—	1,5802	—	1,602
	1,248	1,2494	1,2621	1,252
	1,1715	1,1657	1,1715	1,166
—	1,0645	1,0690	1,068	
Cr ₇ C ₃	2,1511	2,1081	2,1511	2,12
	2,0316	2,0359	2,0490	2,04

крытия и оплавлять деталь без разогрева до высоких температур материала основы.

Для исследования изменений в составе сплава под воздействием различных способов оплавления использовался метод рентгеновского фазового анализа.

Проведен анализ покрытий из самофлюсующегося твердого сплава ПГ-СР4 ГОСТ 21448–75, нанесенного методом плазменной металлизации на образцы из стали 20. Были исследованы неоплавленные образцы после напыления, оплавленные газопламенной горелкой и оплавленные лучом лазера. Лазерное оплавление проводилось на установке ЛГН-702 „Кардамон“.

Исследования выполнялись на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3,0 в излучении $\text{Cu} - \text{K}\alpha$ при напряжении 40 кВ и токе 20 мА. Съемка рентгенограмм образцов, представляющих собой плоские шлифы размером 5 x 10 x 2 мм, производилась со щелями № 1 – 0,5 мм, № 2 – 8 мм, № 3 – 0,1 мм. При записи профилей линий образцов на диаграммную ленту скорость движения счетчика составляла 1 град/мин, скорость движения диаграммной ленты – 600 мм/ч. Была проведена запись дифракционных линий образцов в области углов отражения $2\theta = 20^\circ \dots 150^\circ$. Полученные значения межплоскостных расстояний и соответствующих им фаз, определенные с помощью картотеки ASTM, представлены в табл. 1 и на рис. 1.

В результате исследований установлено, что структура сплава ПГ-СР4 после напыления представляет собой смесь нескольких фаз: карбида никеля Ni_3C и бориды никеля Ni_3B , боридов хрома Cr_5B_3 , CrB и бората хрома CrBO , карбидов хрома Cr_{23}C_6 , Cr_7C_3 , а также силицидов. После оплавления газопламенной горелкой характерные фазы сохраняются, однако уменьшение параметров решетки никеля, которое проявляется в смещении максимумов дифракционных линий никеля, свидетельствует о дополнительном образовании в сплаве ПГ-СР4 твердого раствора на основе никеля. Анализ покрытий, оплавленных лазерным излучением, также показал образование твердого раствора на основе никеля при сохранении характерных фаз.

Таким образом, использование лазерного излучения для оплавления покрытий не приводит к значительному изменению их фазового состава и поз-

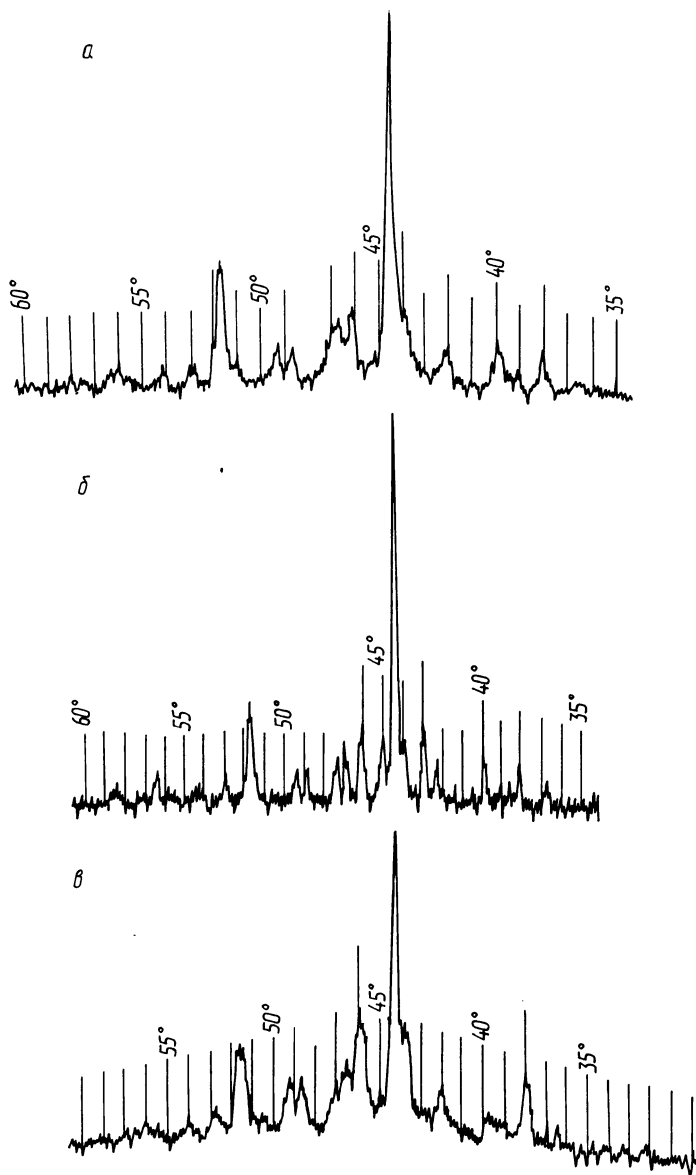


Рис. 1. Сплав CP-4 неоплавленный (а) ; после оплавления газопламенной горелкой (б) ; после лазерной обработки (в)

воляет оплавливать покрытия, нанесенные на поверхность крупногабаритных деталей, что существенно расширяет область применения самофлюсующихся твердых сплавов.

ОБРАБОТКА ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ ДИФФУЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

Поверхностная закалка с использованием лазерного излучения позволяет достигнуть высоких значений твердости поверхностного слоя. Однако возможности этого метода лимитируются материалом деталей, то есть для каждой стали существует твердость, максимально достижимая при лазерной закалке. Во всех случаях микротвердость поверхностного слоя не превышает 12000...13000 МПа. Достижение более высоких значений возможно при изменении химического состава, например диффузионным путем, в результате чего в поверхностном слое образуются высокотвердые химические соединения: карбиды, нитриды, бориды, имеющие твердость порядка 15000...25000 МПа. Однако твердые диффузионные слои характеризуются малой толщиной, высокой хрупкостью. Для ликвидации указанных недостатков проводились эксперименты по упрочнению поверхностного слоя комбинированным методом, включающим диффузионное насыщение поверхностного слоя бором с последующей обработкой лазерным излучением.

Для исследования использовались образцы из стали 45. Проводилось борирование их из обмазки, содержащей 60 % B_4C , 35 % железной окалины, 5 % фтористого натрия, на глубину 100 мкм. Затем поверхность образцов подвергали воздействию излучения лазера непрерывного действия мощностью 800 Вт при различных режимах (скорости перемещения луча, плотности мощности излучения). Проводились металлографические исследования упрочненных слоев.

Металлографический анализ показал значительное изменение структуры борированных слоев после лазерной обработки. Во всех случаях происходило увеличение толщины слоя до 160...440 мкм в зависимости от режима обработки при толщине исходного боридного слоя 100 мкм. При лазерной обработке с режимами, обеспечивающими невысокое энергетическое воздействие (при плотностях мощности порядка 10^4 Вт/см² и высоких скоростях перемещения луча), боридная зона оставалась сплошной. При этом исчезало характерное игольчатое строение и увеличивалась толщина. Для режимов с более высоким энергетическим воздействием была характерна структура типа боридной эвтектики или механической смеси боридных частиц с твердым раствором бора в α -железе.

Исследования микротвердости показали, что в случае сплошного слоя микротвердость составляет 16000 МПа, что соответствует боридам Fe_2B . В указанной зоне имеются характерные дендритные включения, с микротвердостью порядка 24000 МПа, соответствующей высокобористой фазе FeB . В случае образования механической смеси микротвердость составляла около 20000 МПа. Это дает основание предполагать, что боридные частицы являются частицами FeB . При образовании боридной эвтектики микротвердость составляла около 12000 МПа.

Общий вид полученных после лазерной обработки структур свидетель-

ствует о том, что они имеют значительно более низкую хрупкость, чем исходные диффузионные борированные слои. Исследования хрупкости, выполненные по методике П.К.Григорьева и др., показали, что после лазерной обработки происходит снижение хрупкости слоя в 5...20 раз.

Таким образом, обработка борированных слоев лазерным излучением приводит к значительному увеличению толщины боридной зоны и уменьшению хрупкости, что позволит расширить номенклатуру упрочняемых деталей.

УДК 621.91.02

Н.Н.ГОРЩАРИК, М.Т.ЗАБАВСКИЙ, канд.
техн. наук, М.А.КАРДАПОЛОВА (БПИ)

ОЦЕНКА ПОКРЫТИЯ ДЛЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА, НАНЕСЕННОГО ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫМ ОСАЖДЕНИЕМ

В настоящее время для упрочнения режущего инструмента все более широкое распространение получают специальные износостойкие покрытия на основе тугоплавких металлов, их карбидов, нитридов, окислов и т. п.

Метод вакуумно-плазменного осаждения благодаря высокой степени ионизации и возбуждения компонентов конденсируемого плазменного потока обеспечивает возможность синтеза таких покрытий при относительно низких температурах. Этим и объясняется все возрастающий интерес к использованию вакуумно-плазменного осаждения для получения защитных покрытий на инструменте.

В данной работе приводятся результаты проведенных исследований износостойкости покрытий из нитрида титана, полученных вакуумно-плазменным осаждением (в зависимости от их микротвердости).

Для испытаний использовались отрезные резцы, изготовленные из стали Р6М5. Твердость режущей части резца перед напылением составляла HRC₃ 62...64, шероховатость поверхности соответствовала 8 классу.

Поверхность режущего инструмента перед нанесением покрытия промывалась последовательно в ацетоне, бензине марки „Галоша“ и этиловом спирте. Нанесение покрытий производилось на установке вакуумно-плазменного осаждения „Пуск“. В качестве исходного материала для напыления служил титан марки ВТ-1-00, а реактивным газом — азот высшей очистки.

Процесс нанесения покрытий включал три стадии: очистку поверхности образца ионами азота, очистку (бомбардировку) ионами титана и непосредственно конденсацию покрытия. Температура в ходе осаждения покрытия измерялась вмонтированной в образец хромель-алюминиевой термопарой и составляла 500 °С.

Сравнительные испытания резцов с покрытиями проводили при обработке деталей из стали ШХ15 на станке марки ТТ-87 при следующих режимах резания: $n = 54,5$ об/мин; $s = 0,1$ мм/об; $v = 27,5$ м/мин.

Стойкость оценивалась по износу инструмента. Износ измеряли на приборе „Суртоник“.

В процессе исследований износа резцов обнаружено, что при работе инструмента без покрытия на его передней поверхности наблюдается интенсивное лункообразование, одновременно происходит износ по задней поверхности. Лунка, ослабляя режущий клин и повышая на его поверхности температуру, способствует резкому увеличению износа резца по задней поверхности.

При обработке деталей из стали ШХ15 резцами, покрытыми нитридом титана, интенсивность образования лунки значительно меньше. Установлено, что износостойкость возрастает по мере увеличения микротвердости. Износ резцов с покрытиями, имеющими различную микротвердость, представлен на рис. 1. Цифры показывают, во сколько раз суммарная стойкость в опытных вариантах выше стойкости аналогичных образцов базового варианта.

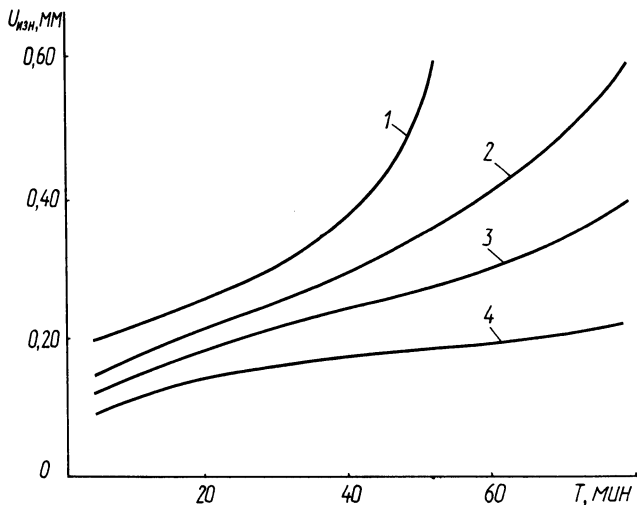


Рис. 1. Скорость износа отрезных резцов: 1 — без покрытия; с покрытием при: 2 — $H_{\mu} = 14000$ МПа; 3 — $H_{\mu} = 17000$ МПа; 4 — $H_{\mu} = 20000$ МПа

На основании данных, полученных в результате проведенных исследований, можно заключить, что микротвердость покрытий из TiN, нанесенных вакуумно-плазменным осаждением на рабочую часть инструмента, является важной характеристикой стойкости инструмента.

Локализация контактных напряжений при резании ограничивается сравнительно небольшим объемом материала инструмента. Поэтому ввиду малой толщины применяемых покрытий композиция „покрытие + материал основы“ является ответственной за режущую способность инструмента в целом. В этой связи температура на поверхности инструмента в ходе осаждения покрытий не должна превышать значений, при которых происходит снижение твердости материала. Экспериментально установлено, что превышение этих значений на 50...80 °С влечет за собой снижение стойкости инструмента на 15...20 %.

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ ЗУБЬЕВ В ПРОЦЕССЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС

Если операции механической обработки зубьев цилиндрических зубчатых колес достаточно хорошо изучены с точки зрения изменения точностных параметров зубчатого венца, то изменение основных физико-механических свойств поверхностного слоя зуба в процессе этой обработки исследовано еще недостаточно. А эти свойства оказывают большое влияние на такие эксплуатационные параметры зубчатой передачи, как ресурс работы, надежность, виброакустические характеристики и т. д.

Одним из таких свойств является твердость поверхностного слоя зуба, которая регламентируется техническими условиями на изготовление зубчатых колес.

Исследования выполнены для трех партий цилиндрических зубчатых колес по 50 деталей в партии на операциях зубофрезерования и шевингования зубьев. При выполнении измерений была обеспечена возможность сопоставления полученных результатов на указанных операциях.

Материал деталей – сталь 40Х, термообработка – нормализация и улучшение до твердости поверхностного слоя НВ 2690...3110 МПа.

В дальнейшем данные детали не подвергались термообработке. Таким образом, значение твердости на операции шевингования является окончательным, в значительной степени влияющим на качество детали.

Измерение микротвердости осуществлялось на приборе ПМТ-3 с нагрузкой 1,0 Н в трех точках по длине зуба.

Микротвердость определялась по формуле

$$H_{1,0} = \frac{1854 \cdot 1000}{d_{cp}^2},$$

где $H_{1,0}$ – микротвердость при нагрузке 1,0 Н; d_{cp} – среднее значение диагонали отпечатка алмазной пирамиды, мкм.

По результатам экспериментальных данных были построены эмпирические линии регрессии для зависимости $y = f(x)$, где y и x – значения микротвердости на операциях шевингования и зубофрезерования.

По полученным результатам установлено, что зависимость по характеру близка к линейной и может быть описана уравнением

$$\bar{y} = a + b\bar{x}. \quad (1)$$

Затем с помощью специальной программы на ЭВМ были рассчитаны основные статистические характеристики исследуемых зависимостей.

Усредненные для трех партий деталей результаты расчетов представлены в табл. 1, в которой $H_{1фр}$, $H_{2фр}$, $H_{3фр}$, $H_{ср.фр}$ – значения микротвердости в точках 1, 2, 3 и среднее значение после зубофрезерования; $H_{1шев}$, $H_{2шев}$, $H_{3шев}$, $H_{ср.шев}$ – то же после шевингования; \bar{x} и \bar{y} – средняя арифметическая величина микротвердости соответственно после зубофрезерования и

Т а б л и ц а 1

Показатели	$H_{1\text{шев}} = f(H_{1\text{фр}})$	$H_{2\text{шев}} = f(H_{2\text{фр}})$	$H_{3\text{шев}} = f(H_{3\text{фр}})$	$H_{\text{ср.шев}} = f(H_{\text{ср.фр}})$
\bar{x} , МПа	2431,1	2479,3	2454,9	2463,1
\bar{y} , МПа	2011,0	2037,2	2043,7	2047,9
σ_x , МПа	369,3	385,4	329,5	336,3
σ_y , МПа	277,9	222,4	199,7	188,9
r_{xy}	0,36	0,36	0,35	0,34
$t_{r_{xy}}$	3,494	3,53	3,26	3,06
b	0,27	0,21	0,21	0,19
t_b	3,46	3,49	3,24	3,04
a , МПа	1354,6	1516,6	1528,2	1580,0
ϵ	9,87	8,41	7,07	7,02
F	0,975	0,973	0,988	0,998
A , %	81,97	82,0	85,9	84,9
B , %	18,03	18,0	14,1	15,1

шевингования; σ_x и σ_y – среднее квадратическое отклонение этой величины на указанных операциях; a и b – коэффициенты уравнения регрессии (1), при этом a характеризует часть среднего арифметического значения микротвердости на операции шевингования; b – часть среднего исходного значения микротвердости, которая переносится на ее конечное значение; r_{xy} – коэффициент корреляции; t_b , $t_{r_{xy}}$ – критерии Стьюдента достоверности значений b и r_{xy} ; F – критерий Фишера, служащий для оценки адекватности модели; ϵ – средняя относительная ошибка уравнения связи; A – часть дисперсии σ_y^2 значения микротвердости на операции шевингования; B – то же, перенесенная с предыдущей зубофрезерной операции.

Для случая $H_{\text{ср.шев}} = f(H_{\text{ср.фр}})$ зависимость (1) может быть записана в следующем виде:

$$\bar{y} = 1580,0 + 0,19\bar{x}.$$

В ы в о д ы. 1. Между значениями микротвердости поверхности зуба на операциях зубофрезерования и шевингования существует достоверная корреляционная зависимость ($r_{xy} = 0,34...0,36$, $t_{r_{xy}} = 3,06...3,53$), с достаточной степенью точности описываемая полиномом первой степени ($\epsilon = 7,02...9,87$ %, $F = 0,973...0,998$, $F < F_{\text{табл}}$, для данных условий $F_{\text{табл}} = 1,65$).

2. На размер дисперсии микротвердости после операции шевингования переносится определенная часть с предыдущей зубофрезерной обработки (14...18 %), т. е. в изучаемом процессе проявляется эффект технологической наследственности.

3. На операции шевингования происходит некоторое снижение микротвердости по сравнению с предыдущей зубофрезерной обработкой. Это объясняется, на наш взгляд, тем, что зубофрезерование сопровождается значительными усилиями резания, большими по значению упругими и пластическими деформациями по сравнению с шевингованием, что приводит к образованию более твердого наклепанного слоя.

4. Полученные результаты свидетельствуют о возможности управления процессом изменения значений микротвердости поверхности зубьев цилиндрических зубчатых колес на операции шевингования путем выбора их рациональных значений на предыдущей операции.

О ПОВЕРХНОСТНОМ ЛЕГИРОВАНИИ ИЗЛУЧЕНИЕМ CO_2 -ЛАЗЕРА

Лазерное легирование позволяет изменить химический состав поверхностного слоя и тем самым шире варьировать физико-механические свойства поверхностного слоя. В настоящее время имеется ряд работ, в которых исследуются возможности этого метода. Однако в большинстве случаев изучалась возможность поверхностного легирования с использованием лазеров импульсного действия. В настоящей работе исследовались возможности поверхностного легирования непрерывным лазерным излучением.

Для этих целей применялась следующая технология лазерного легирования: на поверхность образца наносился тонкий слой легирующего порошка мелкой фракции в виде эмульсии. Затем нанесенное покрытие проплавлялось совместно с основой излучением непрерывного лазера мощностью 800 Вт. Был проведен ряд экспериментов по выбору связующего вещества для изготовления эмульсии.

При поверхностном легировании конструкционных сталей эффект от изменения химического состава суммируется с эффектом от поверхностной закалки из жидкого состояния, и поэтому металлографическими методами сложно выявить изменение физико-механических свойств вследствие изменения химического состава. Поэтому для изучения эффектов поверхностного легирования в качестве материала основы было выбрано армко-железо. В этом случае любое изменение химического состава в поверхностном слое вызывает изменение структуры, которое легко определяется визуально. В качестве легирующих сред использовались порошки карбида вольфрама, карбида бора, меди. Облучение образцов производили на воздухе при различных плотностях мощности и скорости перемещения луча.

Металлографический анализ показал изменение структуры и свойств поверхностного слоя. Производилась оценка полученных слоев, исходя из микрогеометрии поверхности, твердости легированного слоя и его глубины.

Оптимальные результаты были получены при использовании в качестве покрытий аморфного бора и меди. Удалось получить легированные слои до 0,4 мм глубиной при хорошей микрогеометрии поверхности. Твердость легированного слоя связана с его глубиной. Это объясняется тем, что при различных режимах работы глубина проплавления основного материала является различной при одинаковом количестве легирующего элемента в слое. Поэтому с увеличением глубины легированного слоя концентрация легирующего элемента уменьшается. Так, микротвердость при легировании аморфным бором меняется от 7500 МПа при глубине слоя 440 мкм до 11000 МПа при глубине слоя 130 мкм. В этом случае структура имеет эвтектический характер.

При легировании медью микротвердость слоя составляла 4000 МПа при твердости основы 1500...2000 МПа. В случае использования в качестве материала покрытия карбида бора наблюдалось частичное выгорание его и глубина слоя составляла 10 мкм. Покрытие из карбида титана выгорало полностью.

На рис. 1 представлены структуры, образуемые при лазерном легировании различными элементами.

Большие скорости охлаждения зоны проплавления вызывают образование перенасыщенного твердого раствора без выделения растворенных компонентов. При этом в слое могут возникать высокие локальные напряжения, приводящие к образованию трещин. Такие трещины видны на рис. 1, в.

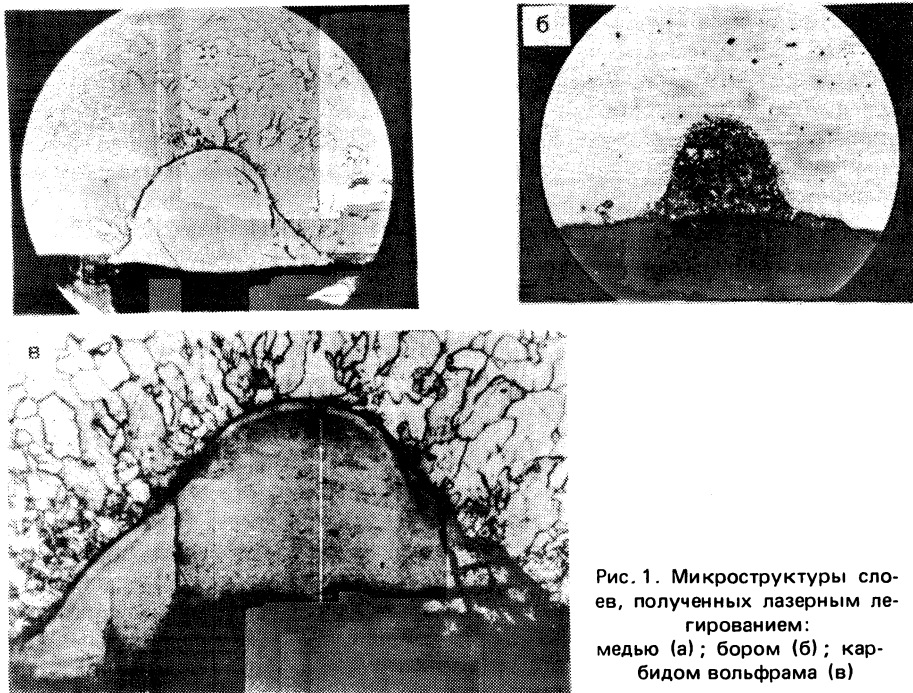


Рис. 1. Микроструктуры слоев, полученных лазерным легированием: медью (а); бором (б); карбидом вольфрама (в)

Таким образом, доказана возможность поверхностного легирования излучением CO_2 -лазера с использованием в качестве основного материала армо-железа. Дальнейшим этапом исследований является изучение закономерностей образования и свойств легированных лазером слоев на конструкционных сталях.

УДК 534:621.919.3

В.Ф.ГОРОШКО, канд. техн. наук (БПИ),
Е.А.МАРКИН, канд. техн. наук (СКБ ПС)

МЕХАНИЗМ ВОЗБУЖДЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ ПРИ ПРОТЯГИВАНИИ

Колебательная система протяжного станка является сложной системой со многими степенями свободы. При малых скоростях резания (соответствующих зоне наростообразования) возрастает отставание изменения силы реза-

Таблица 1

Поперечное сечение упругих опор приспособления, мм	Ориентация упругих опор приспособления	Жесткость по осям общей динамической системы, Н/м		Ориентация систем	
		K_{\max}	K_{\min}	φ	α
15 x 30	А	$2 \cdot 10^7$	$3,92 \cdot 10^6$	$41^\circ 44'$	$26^\circ 21'$
	В	$2,51 \cdot 10^7$	$4,5 \cdot 10^6$	$43^\circ 24'$	$22^\circ 13'$
17,5 x 30	А	$2,02 \cdot 10^7$	$3,7 \cdot 10^6$	42°	$32^\circ 35'$
	В	$2,64 \cdot 10^7$	$4,7 \cdot 10^6$	48°	$34^\circ 15'$
20 x 30	А	$2,59 \cdot 10^7$	$4,7 \cdot 10^6$	$53^\circ 24'$	$36^\circ 38'$
	В	$2,87 \cdot 10^7$	$4,1 \cdot 10^6$	$45^\circ 17'$	$33^\circ 48'$
25 x 30	А	$2,19 \cdot 10^7$	$4,13 \cdot 10^6$	$34^\circ 25'$	$28^\circ 24'$
	В	$3,1 \cdot 10^7$	$5,3 \cdot 10^6$	$45^\circ 18'$	$32^\circ 53'$

ния от изменения толщины среза, что может существенно снизить эффективность механизма регенерации следа. Кроме того, некоторые исследователи считают роль регенерации принципиально несущественной.

Практически важно экспериментально подтвердить факт возбуждения колебаний „по следу“ для многолезвийной обработки при направленных изменениях некоторых технологических параметров системы (жесткость, ориентация осей жесткости).

Резание осуществлялось в специальном приспособлении, имеющем четыре сменных упругих опоры с разным поперечным сечением. Приспособление обеспечивало возможность изменять положение этих опор относительно оси u на 90° (эти положения обозначены соответственно А и В). Таким образом достигалась возможность изменять ориентацию φ осей жесткости системы приспособление — деталь и ориентацию α общей динамической системы, а также величину жесткости системы. Фактические характеристики системы приведены в табл. 1.

Резание осуществлялось на вертикально-протяжном станке мод. 7Б74 на скоростях 2, 6, 10 м/мин однозубой и многозубой протяжками с углами $\alpha = 3^\circ$ и $\gamma = 15^\circ$, подъем на зуб 0,03 мм.

Ниже рассматриваются основные фактические результаты экспериментов. На рис. 1 показана осциллограмма вибраций рабочей каретки 1, приспособления 3 в направлении оси z и приспособления 2 в направлении оси y соответственно после первого, второго и третьего проходов. В приспособлении использованы упругие элементы сечением 25 x 30 мм. Огибающие микронеровности обработанной поверхности показаны на рис. 2. Резание осуществлялось протяжкой с числом зубьев восемь, скорость резания 4 м/мин.

Экспериментально зафиксировано увеличение возбуждения системы и как следствие этого ухудшение технологических характеристик по мере увеличения числа проходов. На осциллограммах, приведенных на рис. 1, видно, что вынужденные колебания в направлении скорости резания возникают под действием изменяющейся толщины среза, первопричиной которой является изменение нагрузки при входе-выходе зуба и образование волнистости. Экспериментальные данные получены при ориентации А упругих элементов приспособления и соответствующих ей характеристик системы (см. табл. 1).

При увеличении жесткости системы, что соответствует ориентации В угругих элементов, высота микронеровностей уменьшается, снижается волнистость протянутой поверхности (см. рис. 2) .

Теоретическое исследование процесса регенерации при протягивании, выполненное СКБ протяжных станков совместно с Рижским политехническим институтом, а также моделирование этого процесса на установке МНБ-1 показало, что с уменьшением жесткости резания переходной процесс становится

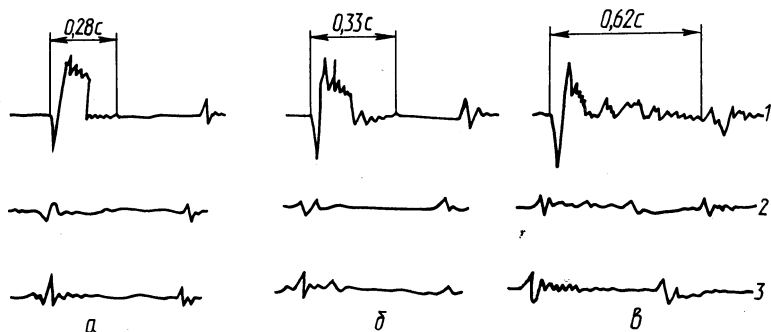


Рис. 1. Осциллограммы вибраций при протягивании:
а, б, в — соответственно первый, второй и третий проходы

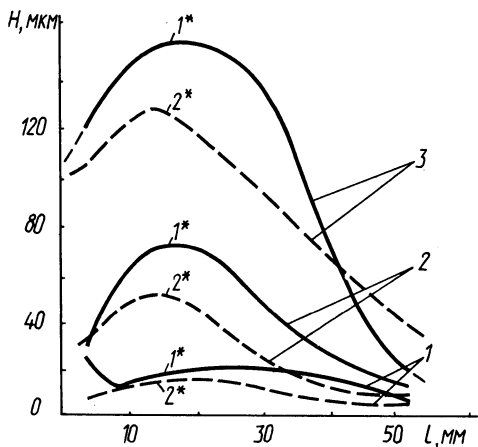


Рис. 2. Изменение высоты макронеровностей H по длине l протянутой поверхности в зависимости от ориентации системы после первого (1), второго (2), третьего (3) проходов:
1* — ориентация А; 2* — ориентация В

ся более длительным и длина волнистого участка при соответствующих проходах имеет большую распространенность. Моделирование проводилось в диапазоне жесткостей резания $(1 \dots 3,6) \cdot 10^7$ Н/м. Экспериментальные данные подтверждают полученные результаты. На рис. 3 показана макроволнистость поверхности после первого и третьего проходов при разных жесткостях системы. На участке, а'' отмечается увеличение времени переходного процесса при снижении жесткости.

Кроме того, амплитуда волнистости после третьего прохода повышает амплитуду волнистости после первого прохода. Следовательно, после трех

проходов не достигается граница регенерации. Это является следствием недостаточного демпфирования системы.

Следовательно, кроме анализа условий максимального и минимального условий устойчивости, необходимо определять границу распространения волнистости. Анализ показал, что предельная ширина среза при этом примерно в два раза меньше, чем определяемая по условию максимальной устойчивости. Отставание силы резания от мгновенной толщины среза приводит к значительному уменьшению амплитуды колебаний (волнистости) от удара при врезании. Как следует из анализа результатов моделирования процесса, при достаточно большом отставании ($\psi > 3$) устойчивость системы возрастает настолько, что определение границы распространения волнистости не представляет практического интереса.

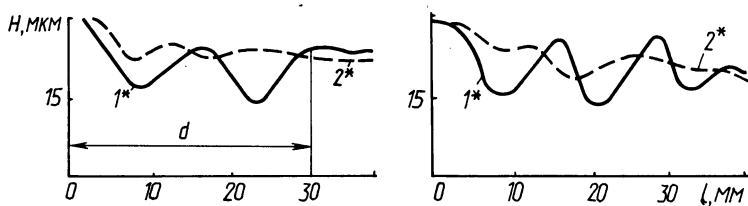


Рис. 3. Изменение волнистости протянутой поверхности после первого (1) и третьего (3) проходов:

1* — ориентация А; 2* — ориентация В

Таким образом, регенеративные колебания при протягивании оказывают влияние на качество поверхности. Из этого следует необходимость уменьшать волну от первого удара (врезание или выход зуба), в особенности при внедрении скоростного протягивания. Это может быть достигнуто как за счет совершенствования конструкции протяжек, так и путем повышения демпфирования и жесткости системы.

СОДЕРЖАНИЕ

Глава I. Исследование обрабатываемости материалов резанием

Ходырев В.И., Добровольский Н.Д. Особенности стружкообразования при ротационном протягивании (строгании) со свободным выходом стружки	3
Кочергин А.И., Каштальян И.А. О закономерностях изменения подачи, которые целесообразно реализовать на токарных станках с ЧПУ	6
Малыренко А.Д. Пути интенсификации процесса обработки оптических поверхностей	9
Сидоренко В.А., Плотников В.А., Жигалко Н.И. К вопросу об установке ротационных расточных резцов	13
Федотов А.Г. Повышение стойкости абразивных лент при ленточном шлифовании алюминиевых сплавов	16
Тлигузов Г.В., Яцуря Е.С., Кулешов В.В. Исследование процесса бесцентрового шлифования с осциллирующим перемещением изделия	18
Каштальян И.А. Шероховатость поверхностей, обработанных с модулированной подачей	21
Кочергин А.И., Мельгуй М.А., Овчинникова Н.В. О возможности прогнозирования обрабатываемости стали 20ХН3А магнитным методом	24
Хак А. К. М. Нурул. Статистический вариант метода торцевого точения	26
Рой Аруп Кумар. Сила и температура резания при сверлении меди	28
Герашенко В.В., Добровольский Н.Д., Хонькин Д.Д. К выбору параметров преобразователей частоты вращения	30

Глава II. Исследование формообразования и точности поверхностей при механической обработке

Чистосердов П.С., Крез А.И. Точность обработки синусоидальных канавок	32
Шагун В.И. Влияние условий резания машинными метчиками на отклонения формы среднего цилиндра резьбы, нарезаемой в чугуне	35
Гончаров Э.Н., Кане М.М., Кондин О.В. Исследование оптимальных планов статистического приемочного контроля применительно к условиям операционного контроля	36
Бабук В.В., Лапидус А.Л., Носач В.А. Формообразование зубчатого венца методом высокотемпературной термомеханической поверхностной обработки	39
Иващенко С.А. Деформация плоских деталей при нанесении покрытий из самофлюсующихся сплавов	42
Новоселов Ю.А., Попок Н.Н. Анализ геометрии ротационного резца в процессе резания	45
Чистосердов П.С., Цумарев О.В. Повышение точности обработки отверстий комбинированным инструментом путем адаптивного управления	48
Миткевич С.И., Янков И.И., Александров Б.И. Исследование точности отверстий, обработанных многороликовыми раскатками	50

О в ч и н н и к о в Л.С., Г р и ц у к В.Д. Возможности голографического контроля прецизионных и оптических деталей в автоматизированном производстве	53
Х о д ы р е в В.И., М о л о ч к о в В.А. Погрешности формы и взаимного расположения поверхностей при обработке винтовым ротационным резцом	55
Ж д а н о в и ч Г.М., М о л о с а е в И.П., Я к у б о в с к и й Ч.А. Пресс-форма для измерения бокового давления при прессовании металлических порошков	59
М у р а х в е р А.С. Реставрация прокладочных стальных листов при изготовлении пластика.	61
П л о т н и к о в В.А. Влияние параметров установки и технологических режимов ротационного расточного инструмента на его силовую напряженность	63
М у р а х в е р А.С. Повышение производительности и точности хонингования отверстий.	65

Глава 111. Механизация и автоматизация машиностроения

С в и д е р с к и й Г.С., Х у т с к и й Г.И., Н о в и ч и х и н Р.В. Принципы построения многоцелевых робототехнических систем	67
Ж и г а л к о Н.И., С и н и ц ы н Б.И., Р о з е н т а л ь П.Л. Вопросы разработки САПР многоинструментных наладок агрегатных станков	71
А ф а н а с ь е в Н.А. Анализ средств отображения информации робототехнических комплексов	73
К о н о в а л о в И.В., С а м о й л е н к о А.В. Усилительно-согласующее устройство для подключения шлейфов при оперативном контроле динамических процессов	75
Н о в и ч и х и н Р.В., С а м о й л е н к о А.В., С в и д е р с к и й Г.С. К вопросу использования радиоактивных изотопов для ориентации рабочего органа промышленного робота в пространстве.	77
Д р о з д о в А.В., Д о м а р е н к о А.Н., Л о б о в к и н М.И. Повышение уровня автоматизации мелкосерийного производства приборостроительного предприятия.	79
Ш а р д ы к о П.П., Д м и т р и е в О.Л. Анализ конструкций механизмов шпиндельных узлов с автоматической сменой инструментов.	84
К а р а н ч у к О.В., Я ц у р а Е.С. К вопросу разработки телескопической руки автоматического манипулятора	85
К о с т ь к о в и ч С.С., К у з н е ц о в В.П. Классификация технологических, транспортных и эксплуатационных нагрузок на детали машин.	90

Г л а в а IV. Повышение долговечности оборудования за счет упрочнения поверхности деталей

П р и с е в о к А.Ф., Б о й к о Л.В. Водородный износ металлов и сплавов	92
И в а щ е н к о С.А., Ф е д о р ц е в В.А., С у щ е в и ч И.Н. Устройство для определения остаточных напряжений и результаты исследования напряжений в покрытиях из самофлюсующихся твердых сплавов	96
С п и р и д о н о в Н.В., Л у ц к о Н.И. Получение износостойких покрытий из керамики высокотемпературным напылением с последующей лазерной обработкой	99

Кобяков О.С., Гинзбург Е.Г., Шляхтенко Н.Я. Зонное упрочнение поверхности стальных деталей.	101
Бондарев Е.А., Луцко Н.И., Пекарчик Е.С. Влияние некоторых факторов на коэффициент использования порошка и производительность горелки для газопламенного напыления	105
Статкевич О.Н., Протасевич В.А., <u>Яковлев Г.М.</u> Рентгеновские исследования сплавов Ni—Cr—B—Si.	107
Девойно О.Г., Ситкевич М.В. Обработка лазерным из- лучением диффузионных покрытий.	110
Горшарик Н.Н., Забавский М.Т., Кардаполо- ва М.А. Оценка покрытия для режущего инструмента, нанесенного вакуумно-плазменным осаждением.	111
Медведев А.И., Кане М.М., Клещева С.Р. Исследо- вание микротвердости зубьев в процессе механической обработки ци- линдрических колес	113
Девойно О.Г., <u>Яковлев Г.М.</u> , Спиридонов Н.В. О поверхностном легировании излучением CO ₂ -лазера	115
Горошко В.Ф., Маркин Е.А. Механизм возбуждения ко- лебаний при протягивании.	116

РЕФЕРАТЫ

УДК 621.919

Ходырев В.И., Добровольский Н.Д. Особенности стружкообразования при ротационном протягивании (строгании) со свободным выводом стружки. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 3—5.

Изложены результаты экспериментальных исследований особенностей стружкообразования при ротационном протягивании (строгании) плоскостей со свободным выводом стружки из зоны резания. — Ил. 2. Библиогр. 1.

УДК 621.941.23

Кочергин А.И., Каштальян И.А. О закономерностях изменения подачи, которые целесообразно реализовать на токарных станках с ЧПУ. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 6—9.

Обоснованы методы регулирования подачи, которые могут быть реализованы непосредственно устройством ЧПУ и использованы для кинематического стружколоманья, повышения производительности и точности обработки деталей типа дисков. — Ил. 2. Библиогр. 1.

УДК 681.7.05; 658.527

Маляренко А.Д. Пути интенсификации процесса обработки оптических поверхностей. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 9—12.

Приводится анализ существующего технологического процесса механической обработки и классификация способов обработки оптических деталей по степени достижения требуемой точности и по геометрическим параметрам зоны контакта. Намечены пути создания устройств для обеспечения обработки одновременно двух криволинейных поверхностей. — Ил. 2.

УДК 621.95.025.001

Сидоренко В.А., Плотников В.А., Жигалко Н.И. К вопросу об установке ротационных расточных резцов. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 13—16.

Предложены формулы определения основных установочных параметров для проектирования расточных ротационных головок. Дан анализ установки расточных резцов выше и ниже оси центров обрабатываемой детали. — Ил. 3.

УДК 621.923.4

Федотов А.Г. Повышение стойкости абразивных лент при ленточном шлифовании алюминиевых сплавов. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 16—17.

Рассматривается вопрос о повышении стойкости абразивных лент посредством вибрации в режиме автоколебаний ленты. Даны зависимости производительности процесса от времени при различных методах ленточного шлифования алюминиевых сплавов. — Ил. 2.

УДК 621.923.924

Тилигузов Г.В., Яцура Е.С., Кулешов В.В. Исследование процесса бесцентрового шлифования с осциллирующим перемещением изделия. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 18—21.

Приводятся результаты исследования эффективности процесса обработки по схеме бесцентрового шлифования в осевом направлении. Установлены рациональные диапазоны изменения режимных факторов для промышленного использования данной схемы шлифования. — Ил. 2. Табл. 1.

УДК 621.941.23

К а ш т а л ь я н И.А. Шероховатость поверхностей, обработанных с модулированной подачи. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 21—23.

Рассматривается метод модулированного изменения подачи по треугольному закону в функции пути. Приводятся результаты исследований влияния параметров модулированной подачи на шероховатость поверхности. — Ил. 1. Табл. 2.

УДК 621.941

К оч е р г и н А.И., М е л ь г у й М.А., О в ч и н н и к о в а Н.В. О возможности прогнозирования обрабатываемости стали 20ХН3А магнитным методом. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 24—25.

Приведены результаты исследований, устанавливающих взаимосвязь между обрабатываемостью и магнитными характеристиками стали 20ХН3А. Показано влияние величины градиента нормальной составляющей остаточного магнитного поля, твердости и химического состава стали на величину мощности, затрачиваемой при сверлении. — Ил. 1.

УДК 621.9

Х а к А.К.М. Н у р у л. Статистический вариант метода торцевого точения. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 26—28.

Описан метод определения относительной обрабатываемости металла, который дает возможность находить статистические оценки уровня скорости резания при обработке образцов малого диаметра на одной частоте вращения шпинделя. — Ил. 2.

УДК 621.95

Р о й А р у п К у м а р. Сила и температура резания при сверлении меди. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 28—29.

Приведены данные по влиянию различных факторов на осевую силу и температуру резания при сверлении меди. — Ил. 2.

УДК 621.919:621.317

Г е р а щ е н к о в В.В., Д о б р о в о л ь с к и й Н.Д., Х о н ь к и н Д.Д. К выбору параметров преобразователей частоты вращения. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 30—31.

Описан разработанный авторами импульсный преобразователь частоты вращения инструмента в частоту следования импульсов. Проведен анализ влияния параметров преобразователя на точность измерения частоты вращения инструмента. — Ил. 2.

УДК 621.914:621.83

Ч и с т о с е р д о в П.С., К р е з А.И. Точность обработки синусоидальных каналов. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 32—35.

Показана принципиальная схема устройства для фрезерования замкнутой синусоидальной канавки на цилиндрической поверхности деталей редуктора с синусошариковым зацеплением. Проведен анализ погрешности воспроизведения синусоиды в зависимости от геометрических погрешностей устройства и получена теоретическая зависимость для определения их значения. — Ил. 2.

УДК 621.993.042

Шагун В.И. Влияние условий резания машинными метчиками на отклонения формы среднего цилиндра резьбы, нарезаемой в чугуне. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 35–36.

Изложены результаты исследований влияния радиального биения метчика, скорости резания и СОЖ на отклонения формы среднего цилиндра резьбы. Приводятся объяснение характера влияния упомянутых факторов и рекомендации по повышению точности формы формируемых резьбовых поверхностей. — Табл. 1.

УДК 658.562.00

Гончаров Э.Н., Кане М.М., Кондин О.В. Исследование оптимальных планов статистического приемочного контроля применительно к условиям операционного контроля. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 36–38.

Изложены результаты исследований экономически оптимальных планов статистического приемочного контроля применительно к условиям операционного контроля и сформулированы рекомендации по выбору планов контроля.

УДК 621.833.002:621.73

Бабук В.В., Лapidус А.Л., Носач В.А. Формообразование зубчатого венца методом высокотемпературной термомеханической поверхностной обработки. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 39–41.

Приводятся результаты исследования формообразования зубчатого венца методом высокотемпературной термомеханической поверхностной обработки (ВТМПО). Определены оптимальные режимы обработки. Даны сведения о границах применения исследуемого способа формообразования зубчатого венца. — Ил. 2.

УДК 621.81–408.62.793.011:539.374

Иващенко С.А. Деформация плоских деталей при нанесении покрытий из самофлюсующихся сплавов. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 42–44.

Проведено исследование процесса деформации плоских деталей при получении покрытий из самофлюсующихся сплавов. Выявлена взаимосвязь технологических факторов, влияющих на величину деформации плоских деталей при напылении, определены оптимальные геометрические параметры деталей при нанесении упрочняющего покрытия из сплава ПГ-СРЗ на сталь 20. — Ил. 3.

УДК 621.951

Новоселов Ю.А., Попок Н.Н. Анализ геометрии ротационного резца в процессе резания. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 45–47.

Приводится общая методика геометрического анализа процессов резания на примере лезвия ротационного инструмента. Методика основана на элементах дифференциальной геометрии и векторной алгебры. — Ил. 1

УДК 621.7.06

Чистосердов П.С., Цумарев О.В. Повышение точности обработки отверстий комбинированным инструментом путем адаптивного управления. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 48—50.

Описывается способ адаптивного управления точностью обработки отверстий и конструкция комбинированного инструмента для его осуществления. Применение указанного способа в четыре раза повышает точность обработки отверстий. — Ил. 2.

УДК 621.784.4

Миткевич С.И., Янков И.И., Александров Б.И. Исследование точности отверстий, обработанных многороликовыми раскатками. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 50—52.

Приведены результаты исследования влияния характера окружного расположения роликов в многороликовой раскатке на погрешности геометрической формы обработанного отверстия.

Показано, что применение раскаток с неравномерным окружным расположением роликов позволяет существенно снизить погрешности формы раскатанных отверстий. — Ил. 2.

УДК 681.7.002—2:778.38

Овчинников Л.С., Грицук В.Д. Возможности голографического контроля прецизионных и оптических деталей в автоматизированном производстве. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 53—55.

Представлены голографические методы контроля прецизионных и оптических деталей. Рассмотрены рациональные методы голографического контроля в условиях автоматизированного производства и определены задачи и способы автоматизации контроля с применением голографических методов.

УДК 621.91

Ходырев В.И., Молочков В.А. Погрешность формы и взаимного расположения поверхностей при обработке винтовым ротационным резцом. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 55—58.

Анализируются причины и механизм геометрического образования погрешностей формы и взаимного расположения поверхностей, обработанных винтовыми ротационными резцами. Получены условия, соответствующие отсутствию этих погрешностей. — Ил. 2. Табл. 1.

УДК 621.833

Жданович Г.М., Молосаев И.П., Якубовский Ч.А. Пресс-форма для измерения бокового давления при прессовании металлических порошков. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 59—61.

Описана конструкция экспериментальной пресс-формы для измерения величины бокового давления при прессовании изделий из металлических порошков методом точечных мездоз. Приведены экспериментальные данные распределения бокового давления по высоте прессовок. — Ил. 3.

УДК 621.921

Муряхер А.С. Реставрация прокладочных стальных листов при изготовлении пластика. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 61—62.

Описана конструкция шлифовально-полировочного вала для обработки крупногабаритных листовых материалов. Приведены результаты исследования влияния частоты вращения шлифовально-полировочного вала на величину съема металла и микрометрические характеристики обработанной поверхности. Определены оптимальные режимы обработки листа из нержавеющей стали шлифовально-полировочным валом.

УДК 621.95.01.001

Плотников В.А. Влияние параметров установки и технологических режимов ротационного расточного инструмента на его силовую напряженность. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 63–64.

Приведены результаты исследования процесса растачивания по прямой схеме резания ротационным резцом, установленным относительно обрабатываемой детали по второй геометрической схеме установки.

Предложены формулы, позволяющие определять составляющие усилия резания в радиальном, осевом и касательном к режущему лезвию направлениях. Дан анализ силовой напряженности, возникающей в резце, в зависимости от углов установки реза в вертикальной и горизонтальной плоскостях и от режимов резания. — Библиогр. 3.

УДК 621.923.5

Муряхвер А.С. Повышение производительности и точности хонингования отверстий. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 65–66.

Изложены результаты исследования влияния высокочастотных радиальных колебаний в зоне контакта хонинговальных брусков с обрабатываемой поверхностью на производительность и неточность формы обработанного отверстия.

Приведены результаты экспериментов, подтверждающих эффективность нового метода виброхонингования. — Табл. 1. Библиогр. 1.

УДК 007.52

Свидерский Г.С., Хутский Г.И., Новичихин Р.В. Принципы построения многоцелевых робототехнических систем. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 67–70.

Рассматриваются принципы построения многоцелевых робототехнических систем для автоматизации основных технологических и вспомогательных операций. Приведено описание аппаратных средств и математического обеспечения робототехнических комплексов, построенных на базе мини-ЭВМ, систем технического зрения и осязания. Даны варианты использования рассматриваемых комплексов при создании автоматизированных производственных систем. — Ил. 2.

УДК 621.8:681.3

Жигалко Н.И., Синицын Б.И., Розенталь П.Л. Вопросы разработки САПР многоинструментных наладок агрегатных станков. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 71–72.

Излагаются вопросы информационного, методологического, программного и организационного обеспечения при разработке САПР многоинструментных наладок агрегатных станков.

УДК 621.002.56

Афанасьев Н.А. Анализ средств отображения информации робототехнических комплексов. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 73–75.

Предложено рассматривать поток информации сенсорных устройств робототехнических комплексов (РТК) с точки зрения его восприятия, обработки и отображения оператору. Рассмотрены функциональная схема и алгоритм работы системы контроля РТК, оснащенного визуальными средствами отображения информации. — Ил. 2.

УДК 621.004.58

К о н о в а л о в И.В., С а м о й л е н к о А.В. Усилительно-согласующее устройство для подключения шлейфов при оперативном контроле динамических процессов. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 75—77.

Предложена оригинальная конструкция усилительно-согласующего устройства для подключения осциллографических гальванометров, предназначенная для осуществления оперативного диагностирования работоспособности узлов оборудования и контроля в них динамических процессов. — Ил. 1.

УДК 007.52

Н о в и ч и х и н Р.В., С а м о й л е н к о А.В., С в и д е р с к и й Г.С. К вопросу использования радиоактивных изотопов для ориентации рабочего органа промышленного робота в пространстве. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 77—79.

Рассмотрен один из возможных подходов к использованию радиационного поля для ориентации рабочего органа промышленного робота в пространстве. Изложена сущность технического решения, приведены блок-схема устройства, описание его работы. — Ил. 1.

УДК 007.52.001

Д р о з д о в А.В., Д о м а р е н к о А.Н., Л о б о в к и н М.И. Повышение уровня автоматизации мелкосерийного производства приборостроительного предприятия. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 79—83.

На основе использования метода экспертных оценок производится анализ обрабатываемых деталей по степени возможности автоматизации их изготовления. Выделенные классы позволяют сформулировать требования, необходимые для повышения уровня автоматизации оборудования в условиях мелкосерийного производства.

УДК 621.914.3—229.2

Ш а р д ы к о П.П., Д м и т р и е в О.Л. Анализ конструкций механизмов шпиндельных узлов с автоматической сменой инструментов. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 84—85.

Рассматриваются требования к шпиндельным узлам с автоматической сменой инструмента, недостатки существующих конструкций и причины возникновения этих недостатков. — Ил. 1.

УДК (007.52:62—8).001.2

К а р а н ч у к О.В., Я ц у р а Е.С. К вопросу разработки телескопической руки автоматического манипулятора. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 85—89.

Рассматривается возможность применения телескопических цилиндров в качестве горизонтально расположенных исполнительных органов автоматических манипуляторов (АМ). Это позволяет уменьшить, например, габариты L руки в 1,5...1,7 раза или оптимизировать другие параметры АМ (при $L = \text{const}$). — Ил. 3.

УДК 621.81.539.4

К о с т ю к о в и ч С.С., К у з н е ц о в В.П. Классификация технологических, транспортных и эксплуатационных нагрузок на детали машин. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 90—91.

Описывается классификация силовых воздействий на детали машин и приборов в процессе изготовления, транспортирования и эксплуатации. — Табл. 1.

УДК 621.891

П р и с е в о к А.Ф., Б о й к о Л.В. Водородный износ металлов и сплавов. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 92—95.

Разработана и создана установка, позволяющая моделировать процесс изнашивания металлов и сплавов при трении с химическими волокнами. На основе экспериментальных исследований установлено присутствие в зоне трения существенного количества водорода, выявлены механизм его образования и причины проникновения водорода в металл. — Ил. 4. Библиогр. 3.

УДК 669.14.018:621.317.7.083.4

И в а щ е н к о С.А., Ф е д о р ц е в В.А., С у щ е в и ч И.Н. Устройство для определения остаточных напряжений и результаты исследования напряжений в покрытиях из самодиффундирующихся твердых сплавов. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 96—99.

Описано устройство для определения остаточных напряжений, методика их исследования, приведены результаты измерения остаточных напряжений в покрытиях из самодиффундирующихся твердых сплавов. — Ил. 2. Библиогр. 4.

УДК 621.793.72

С п и р и д о н о в Н.В., Л у ц к о Н.И. Получение износостойких покрытий из керамики высокотемпературным напылением с последующей лазерной обработкой. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 99—101.

Приводятся сведения о существующих способах нанесения керамики с применением газотермической металллизации, данные о разработке технологии нанесения керамики и по исследованию возможностей обработки керамики лазером для увеличения износостойкости керамического слоя. — Библиогр. 4.

УДК 621.785

К о б я к о в О.С., Г и н з б у р г Е.Г., Ш л я х т е н к о Н.Я. Зонное упрочнение поверхности стальных деталей. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 101—105.

Исследован процесс поверхностной закалки и упрочнения сталей путем высокотемпературного зонного воздействия на металл дугового разряда. Показано, что использование микродугового зонного нагрева позволяет в несколько раз повысить износостойкость сталей при упрочнении деталей машин. — Ил. 2. Табл. 1. Библиогр. 1.

УДК 621.793

Б о н д а р е в Е.А., Л у ц к о Н.И., П е к а р ч и к Е.С. Влияние некоторых факторов на коэффициент использования порошка и производительность горелки для газопламенного напыления. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 105—106.

Приведены результаты исследований по определению влияния влажности порошка и вида обжимающего пламя газа на эффективность и качество напыленных покрытий. — Ил. 1.

УДК 621.793.539.319

Статкевич О.Н., Протасевич В.А., Яковлев Г.М. Рентгеновские исследования сплавов Ni—Cr—B—Si. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 107—109.

Описаны преимущества применения лазерного излучения для оплавления покрытий. Исследовано влияние различных видов оплавления на рентгеновскую дифракционную картину. Приводятся данные о фазовом составе износостойких покрытий Ni—Cr—B—Si после различных видов обработки. — Ил. 1. Табл. 1.

УДК 621.793.4:621.373.826

Девойно О.Г., Ситкевич М.В. Обработка лазерным излучением диффузионных покрытий. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 110—111.

Публикуются результаты экспериментов по лазерной обработке боридных диффузионных покрытий. Указывается, что воздействие лазерного излучения на диффузионный слой приводит к образованию боридной эвтектики, которая обладает высокими эксплуатационными свойствами. Приводятся данные металлографических исследований диффузионных слоев после их обработки лазерным излучением.

УДК 621.91.02

Горщарик Н.Н., Забавский М.Т., Кардаполова М.А. Оценка покрытия для режущего инструмента, нанесенного вакуумно-плазменным осаждением. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 111—112.

Приведены результаты испытаний стойкости отрезных резцов из быстрорежущей стали Р6М5, покрытых нитридом титана, при обработке деталей из стали ШХ15. Показано, что оценкой работоспособности рабочей части режущего инструмента с покрытием, нанесенным вакуумно-плазменным осаждением, может служить микротвердость. — Ил. 1.

УДК 621.833.1:539.531

Медведев А.И., Кане М.М., Клещева С.Р. Исследование микротвердости зубьев в процессе механической обработки цилиндрических колес. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 113—114.

Приведены результаты экспериментального исследования изменения микротвердости поверхности зубьев на различных операциях механической обработки цилиндрических зубчатых колес. Установлены степень тесноты и форма взаимосвязей между исследованными параметрами. — Табл. 1.

УДК 621.785.5

Девойно О.Г., Яковлев Г.М., Спиридонов Н.В. О поверхностном легировании излучением CO₂-лазера. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 115—116.

Приводятся результаты экспериментов по изучению возможности поверхностного легирования с помощью излучения CO₂-лазера. Указывается перспективность данного метода. Приводятся данные металлографических исследований слоев, полученных при легировании армко-железа различными легирующими средами. — Ил. 1.

УДК 534:621.919.3

Горошков Ф., Маркин Е.А. Механизм возбуждения колебаний при протягивании. — Машиностроение, 1984, вып. 9, с. 116—119.

Исследуется интенсивность колебаний при некоторых направленных изменениях параметров системы ориентации осей жесткости и величины жесткости по главным осям. Приводятся рекомендации, направленные на уменьшение интенсивности регенеративных вибраций. — Ил. 3. Табл. 1.

МАШИНОСТРОЕНИЕ

В ы п у с к 9

Редактор Л. Н. Козловская
Худож. редактор И. А. Демковский
Мл. редактор А. Я. Сыромятникова
Техн. редактор Г. А. Лакишик
Корректор З. Б. Звонарева
Оператор Е. Г. Полойко

ИБ № 1713

Подписано к печати 28.XI.83. АТ 16205. Формат 60х90 1/16. Бумага офсет. Офсет. печать. Гарнитура Универс. Усл. печ. л. 8,25. Уч.-изд. л.9,13 . Усл. кр.-отт. 8,625. Тираж 779 экз. Заказ 5801. Цена 1 р. 40 к.

Издательство „Вышэйшая школа“ Государственного комитета БССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 220048, Минск, пр. Машерова, 11.

Типография „Победа“. Молодечно, ул. Тавлая, 11.

Отпечатано с оригинала-макета, подготовленного в издательстве „Вышэйшая школа“.