

## ЗАВИСИМОСТЬ ПРОЧНОСТИ ПРЕССОВОГО СОЕДИНЕНИЯ ОТ ШЕРОХОВАТОСТИ СОПРЯГАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Буканова И.С. - ст. преподаватель, Роговой В.М. - к.т.н., доцент, Ятло И.И. - к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Длительность сохранения эксплуатационных качеств машин определяется в значительной мере сроком сохранения посадок в сопряжениях, в частности, в таких сопряжениях, где втулка тонкостенная и является подшипником скольжения. Возможное осевое и круговое перемещение втулки во многом зависит от величины шероховатости сопрягаемых поверхностей. Например, при продольной запрессовке часть микронеровностей срезается или сминается, снижая тем самым натяг запрессовки, а отсюда и снижение качества соединения.

На практике стремятся получить сопрягаемые поверхности с возможно меньшей шероховатостью, что не всегда достижимо.

Известна возможность повышения качества прессовых соединений «втулка - корпус» дорнованием отверстия запрессованной или установленной с зазором втулки. Авторами проведены исследования влияния высоты микронеровностей втулки и корпуса на показатели прочности, которая оценивалась по усилию осевого перемещения (распрессовка). Втулки изготавливались из латуни марки ЛС 59-1, шероховатость наружной поверхности  $R_z=2,5$  мкм. Корпуса – стальные из стали 40Х (НВ=247). На внутренней поверхности корпусов шероховатость изменялась в пределах 0,8 мкм до 110 мкм, и даже нарезалась резьба с шагом 0,62 мм, что соответствовало  $R_z=500$  мкм. Размеры соединений:  $d_0=20$  мм;

$$d_1/d_2=1,2; D_0/D_1=1,6.$$

Установлено, что шероховатость сопрягаемых поверхностей существенно влияет на прочность соединений не обработанных дорнованием. Так при  $R_z=40$  мкм на внутренней поверхности корпуса величина  $P_p=15$  кН. Уменьшение высоты микронеровностей при прочих равных условиях, вызывает рост  $P_p$  на 36% при  $R_z=20$  мкм и почти на 10%

$$(P_p=17 \text{ кН}) \text{ при } R_z=3,2 \text{ мкм.}$$

Известно, что усилие осевого и кругового перемещения охватываемой детали относительно охватывающей повышается с увеличением площади контакта сопрягаемых поверхностей. Дорнование отверстий запрессованных втулок за счет деформации их стенок повышает площадь контакта деталей соединения и, следовательно, повышаются показатели прочности. Кроме того, при дорновании отверстия втулки, установленной в корпус с натягом, обеспечивающим пластическую деформацию её поверхностного слоя, происходит явление «шпоночного эффекта», т.е. когда в материал одной из деталей соединения, имеющей меньшую твердость, внедряются микронеровности сопрягаемой детали, изготовленной из более твердого материала.

Кроме того, за счет упруго-пластической деформации втулки при дорновании исправляются погрешности формы наружной поверхности, увеличивая площадь контакта.

Так, после обработки дорнованием отверстия запрессованной втулки, имеющей по наружному диаметру  $R_z=2,5$  мкм, в корпусе с высотой микронеровностей  $R_z=500$  мкм по внутреннему диаметру, усилие распрессовки составило 135 кН. С уменьшением высоты микронеровностей внутренней поверхности до  $R_z=40$  мкм прочность соединения снижается более чем в 2 раза. При дальнейшем снижении микронеровностей усилие распрессовки изменялось незначительно.

Следовательно, для получения максимальной эксплуатационной прочности по критерию взаимного перемещения ( $P_p$  и  $M_{кр}$ ) деталей прессового соединения нецелесообразно назначать на поверхностях сопрягаемых деталей высокий класс шероховатости. Процесс дорнования позволяет получить качественное прессовое соединение с оптимальной шероховатостью до  $R_z=20$  мкм со значительным снижением трудоёмкости.

# ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ НЕПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С НЕРАВНОЖЕСТКИМ КОРПУСОМ ПУТЕМ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДОРНА

Гавриленко Д.С. – аспирант, Ковылин Р.Д. – магистрант, Ятло И.И. - к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Рост мощностей и скоростных качеств современных машин выдвигают повышенные требования к работоспособности подшипниковых узлов, в том числе, к качеству к качеству неподвижных соединений типа "втулка–корпус". Поэтому одной из задач современного производства в машиностроении является увеличение прочности таких соединений.

Одним из простых, экономичных и технологичных способов повышения прочности подшипниковых узлов по моменту проворота и усилию распрессовки является дорнование отверстия охватываемой детали соединения. В конструкциях машин, наряду с осесимметричными корпусами, большое распространение имеют подшипниковые узлы со втулками, установленными в неравножесткие корпуса. Если у осесимметричных соединений напряженно–деформированное состояние (НДС) элементов узла тоже симметрично в поперечном сечении, то у соединений с неравножесткими корпусами НДС носит несимметричный характер.

Моделирование процесса дорнования соединений с тонкостенными втулками ( $d_1/d_0 \leq 1,2$ ) методом конечных элементов (программа Cosmos Works) позволило установить что с применением дорна цилиндрической формы перемещения стенок корпуса по окружности втулки различны.

Установлено что в секторе, где толщина стенки корпуса тоньше, перемещения больше и, соответственно, степень пластических деформаций ниже (рисунок 1).

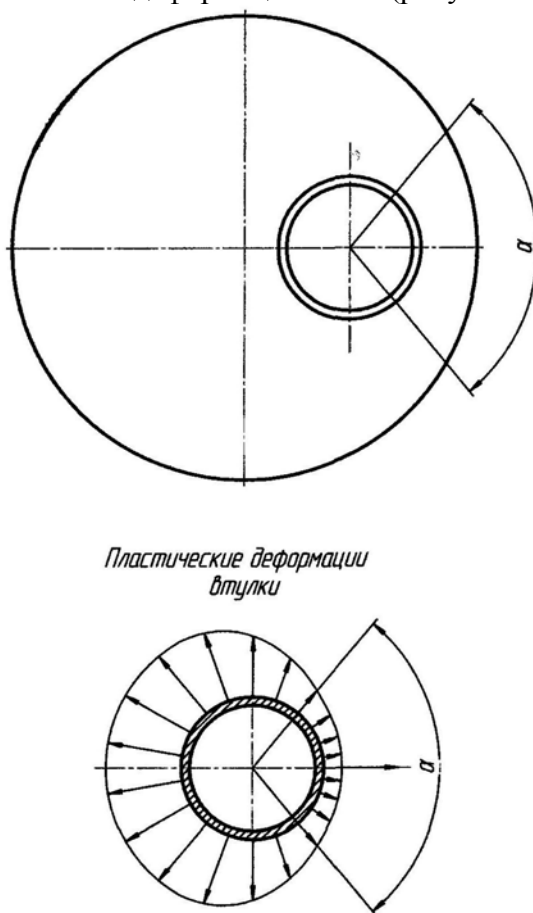


Рисунок 1. Неравножесткий корпус.

Для обеспечения равномерной пластической деформации по окружности втулки предлагается нецилиндричная форма дна с увеличением относительного натяга в зоне больших перемещений (Рисунок 2).

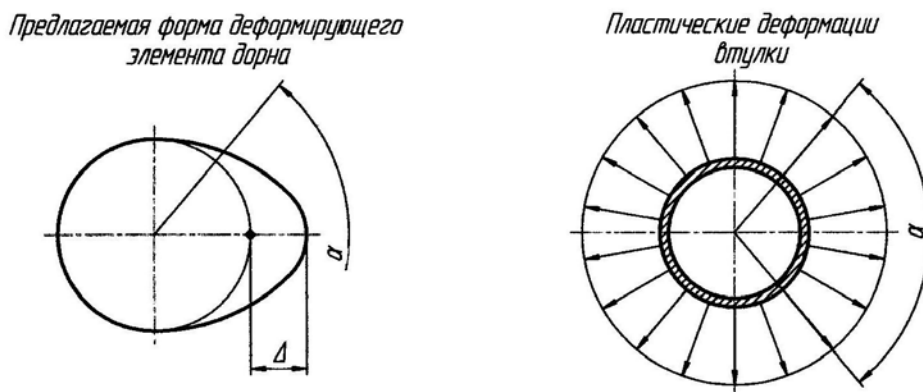


Рисунок 2. Предлагаемая конструкция деформирующего элемента.

Для обеспечения высокой прочности соединения типа «втулка – корпус» с неравножестким корпусом, предлагается снизить относительный натяг в зоне угла  $\alpha$  с целью предотвращения разрушения корпуса при дорновании (рисунок 3).

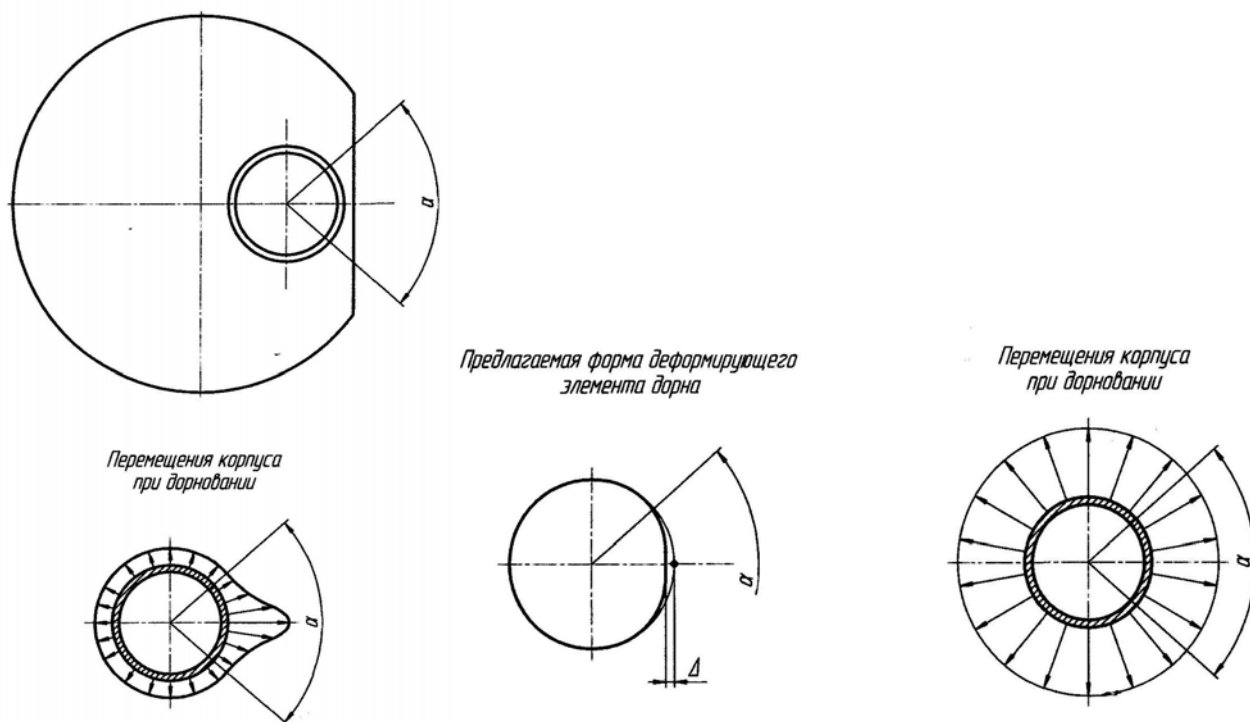


Рисунок 3. Неравножесткий корпус и предлагаемая конструкция деформирующего элемента.

Для достижения поставленной цели предлагается изменить форму деформирующего элемента дна согласно рисунку 2 и 3, с соответствующей ориентацией дна относительно корпуса.

## РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ УНИВЕРСАЛЬНЫМ ИНДУКТОРОМ

Гутников А.Г. – студент, Фёдоров В.А. – к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

В машиностроении часто встречаются задачи обработки поверхностей, которые имеют сложную пространственную форму, что значительно затрудняет их отделочную обработку. Криволинейные поверхности крыльчаток вентиляторов и насосов, лопаток турбин, режущих инструментов – вот далеко не полный перечень изделий, нуждающихся в финишной обработке криволинейных исполнительных поверхностей. Применение высокопроизводительных методов магнитно-абразивного полирования затруднено по причине необходимости обеспечения равномерного зазора между рабочей поверхностью магнитного индуктора и обрабатываемой поверхностью сложного профиля. Возникает необходимость применения дорогостоящих специальных индукторов с рабочей поверхностью эквидистантной обрабатываемой. Высокая трудоёмкость изготовления таких устройств и их низкая универсальность вынуждают разрабатывать конструкции универсальных магнитных индукторов, рабочую поверхность которых можно оперативно изменять. Одним из наиболее перспективных является устройство для магнитно-абразивной обработки, магнитный индуктор которого состоит из расположенных рядами постоянных магнитов и магнитопроводов, каждый из которых может перемещаться вдоль собственной оси и фиксироваться при настройке.

На каждое зерно магнитно-абразивного порошка, находящееся в рабочем зазоре действует комплекс сил магнитного, электромагнитного и механического происхождения. Состав этого комплекса определяется характером внешнего магнитного поля, электропроводными свойствами материала порошка, выбранной схемой полирования, механической характеристикой порошковой среды, формой и размерами зерен, свойствами применяемой смазочно-охлаждающей жидкости. Результирующая сила  $F_p$  действующая на единичное зерно порошковой среды в рабочем зазоре определяется по формуле:

$$F_p = F_m + F_{ин} + F_{цб} + F_{мд} + F_{тр} ,$$

где:  $F_m$ - магнитная сила;

$F_{ин}$ - инерционная сила возникающая при столкновении движущегося зерна с обрабатываемой деталью;

$F_{цб}$ - центробежная сила возникающая при вращении зерна с магнитным индуктором;

$F_{мд}$ - сила механического давления;

$F_{тр}$ - сила трения.

В каждом конкретном способе магнитно-абразивной обработки может участвовать только часть перечисленных сил. Силы механического давления и трения, действующие на отдельное зерно со стороны окружающей порошковой среды, могут быть получены только в ходе расчёта взаимодействий в рабочем зазоре.

Для оценки производительности процесса наиболее показательной является сила давления порошка на обрабатываемую поверхность  $F_n$ , которая в значительной мере зависит от магнитной силы  $F_m$ .

В то же время сила давления зерен порошка на обрабатываемую поверхность определяется не только силой  $F_m$ , действующей непосредственно на контактирующее зерно, но и действием на него окружающей порошковой среды. Сложность необходимых расчетов осложняется тем, что сами зерна внутри рабочего зазора имеют разную форму и размеры. Учитывать это разнообразие не представляется возможным. Целесообразно принять допущения о том, что рабочий зазор заполнен однородной по плотности и магнитным свойствам порошковой средой. При этом значительно упрощается расчет силы давления порошка на обрабатываемую поверхность. Для каждого единичного объема порошковой среды можно получить результирующие всех действующих на него разнородных по своей природе сил и, таким образом, рассчитать силовое поле в пределах рабочего зазора и на его границах, одной из которых является обрабатываемая поверхность.

Для расчета силы давления порошка на обрабатываемую поверхность резания необходимо знать распределение магнитного поля и напряженность магнитных потоков в рабочем зазоре при магнитно-абразивной обработке сложнопрофильных поверхностей.

Для описания магнитных полей при магнитно-абразивной обработке индуктором на постоянных магнитах используем уравнения Максвелла магнитостатики. На основании этих уравнений была разработана имитационная модель, позволяющая рассчитать в любой точке рабочего зазора напряженность магнитного поля и распределение давления порошка по обрабатываемой поверхности.

Для определения силы давления порошка можно использовать выражение Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшица для силы, действующей на тело, помещенное в магнитное поле.

Проявление действия магнитных сил следует ожидать на границах раздела областей, заполненных воздухом и ферромагнитным порошком, поскольку здесь изменение магнитной индукции происходит скачком, а градиенты магнитной индукции, направленные внутрь области с порошком, имеют большие значения. Внутри рабочего зазора неоднородность магнитного поля возникает по периметру рабочей поверхности полюсов, у пазов и кромок на полюсе и на обрабатываемой поверхности вследствие проявления краевого магнитного эффекта. На величину и направление градиента магнитной индукции влияют также переменная высота рабочего зазора и криволинейная форма поверхностей полюса и заготовки, ограничивающих рабочий зазор. Зная об этом, можно целенаправленно изменять величину и направление силы  $F_{\text{п}}$  изменением формы рабочего зазора и созданием на полюсных поверхностях концентраторов магнитного потока.

Одной из наиболее интересных задач, решаемых применением предлагаемого устройства, является задача одновременной обработки областей поверхностей в районе режущей кромки лезвийного инструмента, которые можно описать как плоские переднюю и заднюю поверхность, а также сопрягающую их поверхность собственно режущей кромки с оптимальным радиусом округления.

## ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СЕЛЕКТИВНОЙ СБОРКИ В УСЛОВИЯХ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Дегтярева Н.С. - магистрант, Панов А.А. - к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Одной из причин, препятствующих применению селективной сборки в машиностроении, является возможная некомплектность. Она проявляется как неодинаковое число собираемых деталей одноименных групп.

Анализ состояния вопроса показал, что в условиях массового производства теоретически можно избежать некомплектности деталей в группах. Для этого необходимо равенство допусков составляющих звеньев и идентичность законов рассеяния их размеров. Более того, как показывают результаты последних исследований, некомплектность можно теоретически свести к нулю и при отличающихся законах рассеяния размеров составляющих звеньев, отказавшись от условия равенства допусков и деления их на равные группы. Тем не менее, в реальных условиях некоторая величина некомплектности является неизбежной, поскольку на контроль (сортировку) детали поступают определенными партиями, и в пределах этих партий рассеяние размеров может отличаться от ожидаемого. Однако этот некомплект является переходящим, его величина является относительно небольшой и по сути лишь незначительно увеличивает объем незавершенного производства, не оказывая сколь-нибудь заметного влияния на ход производства.

В условиях серийного производства, когда выпуск изделий производится ограниченными партиями, такая ситуация является неприемлемой. Годные сопрягаемые детали, но принадлежащие к разным группам, не могут быть собраны в изделия со всеми вытекающими по-

следствиями (необходимость пригонки или регулирования, запуск заведомо большей партии и т.п.) и ростом производственных расходов.

Селективная сборка, как известно, реализуется не только предварительной сортировкой на группы, но и непосредственным подбором пар. В последнем случае качество сборки во многом определяется квалификацией комплектовщика. Поскольку вариантов комплектации в общем случае существует множество, вероятность некомплекта и при этом варианте сборки не исключается. Теоретического обоснования оптимальной комплектации при непосредственном подборе пар деталей общая теория размерных цепей не дает.

Таким образом, для реализации метода селективной сборки в условиях серийного производства необходим теоретический анализ возможностей индивидуальной комплектации, разработка алгоритма оптимальной комплектации и методики назначения производственных допусков на изготовление деталей.

## КОНТРОЛЬ ПОРИСТОСТИ ПОКРЫТИЙ

Дианов А.А. - аспирант, Татаркин Е.Ю. - д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Обеспечение высокого качества машиностроительных изделий невозможно без применения эффективных современных методов контроля на всех стадиях производственного цикла: проектирование (разработка), изготовление, эксплуатация [1]. Так, например, при изготовлении деталей с покрытиями имеется задача определения пористости получаемых покрытий.

В процессе изготовления покрытия, например детонационным способом, взаимное наложение множества деформированных частиц материала покрытия неизбежно приводит к образованию в покрытии пор [2]. Для определения параметров пористости в настоящее время существует множество методов. Характеристика методов порометрии представлена в таблице 1 [3].

Таблица 1. – Характеристика основных методов порометрии.

Методы	Получаемая информация	Пределы применимости по радиусам пор $r$ , мкм.
Методы непосредственного наблюдения		
визуально-оптические световая микроскопия электронная микроскопия	Выявление макропор	$\geq 10 - 75$
	Число объем и распределение пор, удельная поверхность.	0,5 – 100 0,01 – 0,5
Просвечивание (радиографический, радиоскопический, радиометрический)	Выявление макропор	0,1 – 100
Капиллярные методы		
Капиллярная дефектоскопия	То же	$\geq 0,1$
Капиллярная проницаемость (транспирационные, капиллярного поднятия жидкости, вытеснения жидкости)	Размер пор, распределение пор по размеру, удельная поверхность	0,01 - 100
Ртутная порометрия	Объем и распределение пор, удельная поверхность	0,0015 – 800
Адсорбционно-структурные	То же	0,0003 – 0,05

Методы малоуглового рассеяния излучений		
рассеяние рентгеновских лучей рассеяние нейтронов	Выявление открытых и закрытых микронеоднородностей, размер пор, удельная поверхность	0,002 – 0,1
Пикнометрические методы		
газовая пикнометрия жидкостная пикнометрия	Общая пористость, объем и размер микропор, распределение микропор	0,0002 – 0,001
Методы	Получаемая информация	Пределы применимости по радиусам пор $r$ , мкм.
Калориметрические методы		
погружение в жидкость (смачивание) термопорометрия	Удельная поверхность, размер микропор Распределение пор	0,0005 – 0,001 0,002 – 1000
Объемно-весовые методы		
волюметрия заполнение пор жидкостью	} Общая пористость  Объем пор, размер пор	0,001 – 1000
гидростатическое взаимодействие жидкостей		0,001 – 1000
Эталонная порометрия	Объем и распределение пор	0,002 – 1000

Выбор каждого из перечисленных в таблице 1 методов в качестве одного из основных методов исследования пористости обусловлен следующими причинами.

Методы непосредственного наблюдения представляются особенно важными в связи с получением прямой информации о размерах, форме и взаимосвязи пор. В этом отношении они не могут быть заменены никакими другими методами. По той же причине получаемые с их помощью результаты служат необходимым дополнением к тем методам порометрии, которые основаны на модельных представлениях о структуре и для более полной интерпретации результатов требуют знания конкретной формы и взаимосвязи пор (ртутно-порометрический и адсорбционно-структурный методы). Ценность методов непосредственного наблюдения состоит также в их результативности по отношению к всевозможным объектам изучения, а также в наличии инструментальной техники и отработанных методик обработки данных, позволяющих изучить пористость в широком интервале размеров пор [3].

Метод ртутной порометрии отличается большой универсальностью, так как позволяет получить сведения о пористой структуре в широком интервале размеров пор. Расчетное уравнение метода отличается простотой, а производство ртутных порометров имеет промышленные масштабы.

Адсорбционно-структурный метод существенно дополняет метод ртутной порометрии в области микропор – самой трудной области порометрического анализа. Огромное достоинство метода состоит в возможности надежного определения такого важного параметра пористой структуры, как удельная поверхность. Наличие приборной техники промышленного изготовления и возможность самостоятельного изготовления простых адсорбционных установок сделало этот метод широко распространенным в физико-химических лабораториях.

Методы малоуглового рассеяния излучения наряду с информацией об основных параметрах пористой структуры в отличие от других методов дают возможность подробного анализа закрытой пористости (замкнутых пор) в довольно значительном интервале размеров.

Пикнометрические методы выделены в особую группу, так как они основаны на едином принципе анализа пористости – измерением плотности твердых тел. Методы очень просты в исполнении, отличаются высокой точностью. Наибольшая их ценность в том, что с их помощью можно анализировать тонкую микропористую структуру материалов при построении полной кривой распределения пор по размерам [3].

Это же свойство отличает и калориметрический метод погружения в жидкость, так как тепловой эффект смачивания поверхности твердого тела связан с проникновением в его микропоры молекул жидкости.

Объемно-весовые методы как методы измерения общей пористости (к ним с полным основанием обычно относят и методы пикнометрии) наиболее употребительны при рутинных измерениях пористости для технического контроля продуктов. Их отличает экспрессность и простота.

Метод эталонной порометрии, развиваемый в последнее время, характеризуется высокой универсальностью по отношению к самым разнообразным материалам (жестким, мягким, хрупким), что не свойственно, например, методу ртутной порометрии.

При выборе того или иного метода измерения пористости покрытий, необходимо заранее знать параметр пористости, который нужно выявить в процессе измерения (общая пористость, закрытая пористость, открытая пористость, объем и распределение пор, удельная поверхность пор), так как у различных методов имеются достоинства и недостатки при измерении определенного параметра пористости.

Возможно объединение нескольких методов определения пористости, например, адсорбционно-структурного и капиллярного методов. Такое объединение ведёт к взаимному устранению их недостатков и повышению эффективности определения сразу нескольких параметров пористости.

Список используемых источников

1. Воробей В.В. Контроль качества изготовления и технология ремонта композитных конструкций / В.В. Воробей, В.Б. Маркин. – Новосибирск: Наука, 2006. – 190 с.
2. Кулагин С.П., Леонов С.Л., Татаркин Е.Ю. Технологическое обеспечение качества изготовления деталей с износостойкими покрытиями. 1993.
3. Плаченев Т.Г., Колосенцев С.Д. Порометрия. – Л.: Химия, 1988. – 176 с.: ил.

## ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОТВЕРСТИЯ ВТУЛКИ УПРАВЛЕНИЕМ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННЫМ СОСТОЯНИЕМ ДЕТАЛЕЙ НЕПОДВИЖНОГО СОЕДИНЕНИЯ С НЕРАВНОЖЕСТКИМ КОРПУСОМ

Гавриленко Д.С. – аспирант, Ковылин Р.Д. – магистрант,

Роговой В.М. – к.т.н., доцент, Ятло И.И. - к.т.н., доцент

Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

В конструкциях машин большое распространение имеют неподвижные соединения со втулками, установленными в неравножесткие корпуса. Установка втулки может быть осуществлена продольной запрессовкой, термическим способом, с помощью процесса дорнования. В отличие от осесимметричного, корпус такого соединения может иметь различную жесткость как по длине, так и в поперечном сечении, поэтому напряженно-деформированное состояние (НДС) элементов соединения в различных сечениях будет иметь различный характер, особенно у соединений, полученных или упрочненных дорнованием отверстия втулки. Наиболее ярко это различие проявляется у соединений с тонкостенными втулками ( $d_1/d_0 \leq 1,2$ ), служащими подшипниками скольжения. При одном и том же натяге дорнования, в местах с максимальной толщиной стенки корпуса в теле втулки могут появиться только оста-



точные деформации, а в сечениях с минимальной толщиной стенки корпуса – упруго-пластические. В связи с этим размер отверстия втулки в этих сечениях будет различным.

Для проведения экспериментальных исследований были изготовлены образцы втулок из Бр.О-5, Ц-5, С-5, корпусов – из стали 45, НВ 248...250,  $d_0 = 20\text{мм}$ ,  $d_1 = 24\text{мм}$ . Форма и размеры элементов соединения представлены на рисунке 1.

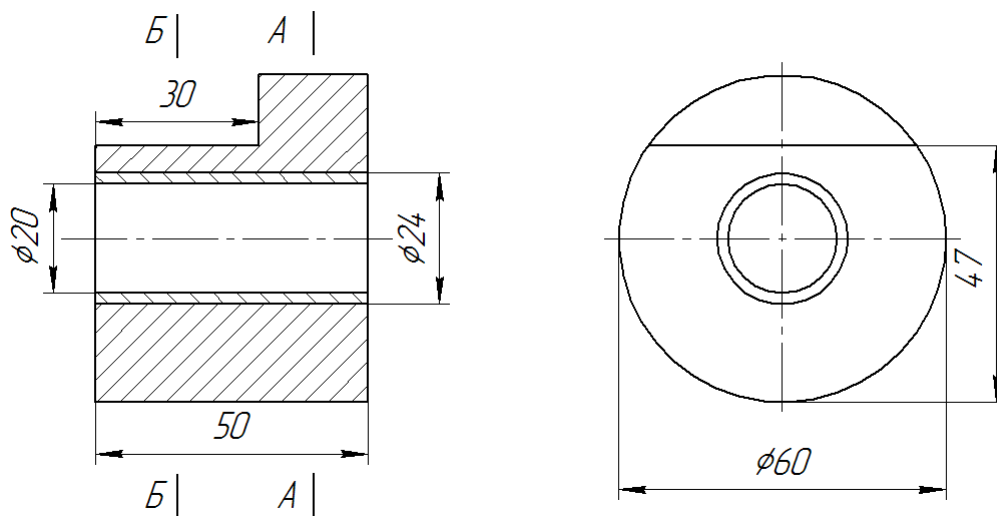


Рисунок 1- Размеры и форма экспериментальных образцов

Принятая форма образцов дает возможность оценить точность отверстия втулки после дорнования в равножестком и неравножестком корпусах. За критерий точности принята разность диаметров отверстия охватываемой детали, измеренных в сечениях А-А и Б-Б и в плоскости, перпендикулярной поверхности лыски:

$$(\delta d_0)_{\text{ост}} = (d_0)_{\text{Б-Б}} - (d_0)_{\text{А-А}} \quad (1)$$

Для проведения экспериментов использовался набор однозубых дорнов (сталь Р6М5, HRC 64), обеспечивающих натяг дорнования 0,08; 0,12; 0,16; 0,2; 0,24 мм. Номинальный диаметр дорнов 20 мм.,  $\alpha = \alpha_1 = 5^\circ$ , цилиндрическая ленточка шириной  $f = 1,5$  мм. В качестве смазки при дорновании использовалось индустриальное масло 20. Образцы дорновались раздельно с указанными натягами. Образцы другой партии обрабатывалась последовательно дорнами с теми же натягами, что создавало аналогию дорнования многозубым дорном. Результаты экспериментальных исследований представлены на рисунке 2.

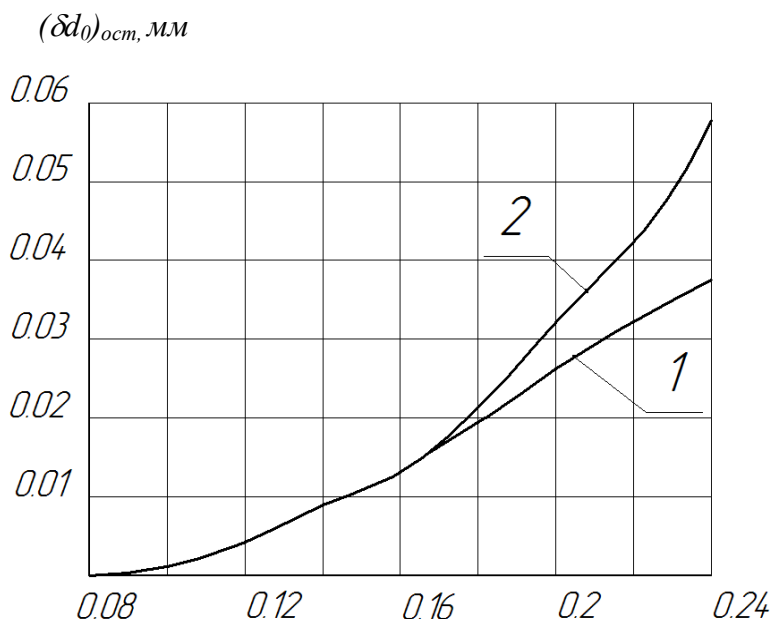


Рисунок 2 – Точность отверстия втулки в зависимости от натяга дорнования

1 - дорнование многозубым дорном

2 - дорнование однозубым дорном

Анализ графиков свидетельствует о том, что при натягах дорнования от 0,08 до 0,12 мм  $(\delta d_0)_{ост}$  увеличивается незначительно, т.к. стенка втулки находится в начале упруго-пластического состояния, а корпус – в упругом. С увеличением натяга до 0,18 мм стенка втулки полностью переходит в упруго-пластическое состояние с преобладанием остаточной деформации по отверстию, что приводит к увеличению  $(\delta d_0)_{ост}$ , корпус при этом находится полностью в упругом состоянии.

С дальнейшим увеличением натяга  $(\delta d_0)_{ост}$  также возрастает, причем для однозубых дорнов этот рост более интенсивен. Такой характер изменения точности отверстия с увеличением натяга связан с тем, что стенка втулки в сечении А-А по всей толщине находится в упруго-пластическом состоянии с преобладанием остаточной деформации по отверстию. В то же время с увеличением натяга дорнования стенка корпуса в сечении А-А из упругого состояния переходит в упруго-пластическое, с остаточными деформациями по сопрягаемой поверхности (т.е. по отверстию корпуса). При многозубом дорновании точность отверстия втулки повышается за счет кратности деформации, которая способствует некоторому повышению упрочнения металла втулки.

Таким образом, при дорновании отверстий втулок в неравножестких корпусах для повышения точности необходимо выбирать режим деформирования сопрягаемых деталей, соответствующий упруго-пластическому состоянию для охватываемой детали и упругому – для охватывающей. Дорнование рекомендуется производить многозубым дорном.

## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ СВЕРЛЕНИИ СПИРАЛЬНЫМ СВЕРЛОМ

Огневенко Е.С. – студент, Кряжев Ю.А. - к.т.н., доцент

Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Анализ литературных источников [1-4 и др.] показывает, что для исследований в области акустической эмиссии (АЭ) (моделирования параметров АЭ, установление критериев оценки качества и прогнозирование работоспособности объектов контроля и т.д.) большинство авторов используют параметры суммарного счета и скорости счета АЭ.

Суммарный счет АЭ (*total emission*)  $N$  [имп.] – число зарегистрированных превышений импульсами АЭ установленного уровня дискриминации (ограничения) за интервал времени наблюдения.

Скорость счета АЭ (*acoustic emission count rate*)  $\dot{N}$  [имп./с] – отношение суммарного счета АЭ к интервалу времени наблюдения.

Эти параметры наиболее просты для регистрации, наиболее изучены и одни из первых были приведены в стандарте ASTM [5]. Однако суммарный счет и его производная являются неоднозначными параметрами, ввиду целого ряда факторов: особенности объекта контроля, характеристики приемно-измерительной аппаратуры и акустического тракта, вид регистрируемой АЭ (непрерывная, дискретная), уровень дискриминации и др. Вследствие этого практический интерес представляет количественный анализ АЭ при механической обработке. Целью анализа является установления требований к аппаратуре и программному обеспечению для регистрации и обработки АЭ.

Наряду с параметрами суммарного счета и его производной, можно выделить удельные параметры АЭ, предложенные для анализа фрикционного взаимодействия твердых тел, характеризующие излучательную способность единичной площади поверхностей, составляющих пару трению [2]. Данные параметры АЭ могут быть полезны при оценке процессов трения сопутствующих механической обработке.

Удельная скорость счета АЭ:

$$N_{уд} = \frac{\Delta N}{\Delta l} = \frac{\Delta N / \Delta t}{\Delta l / \Delta t} = \frac{\dot{N}}{V}, \text{ имп./м}$$

где  $\Delta N$  – число импульсов с пути трения  $\Delta l$ , м;  $\Delta t$  – интервал времени регистрации АЭ, с;  
 $\dot{N}$  – скорость счета АЭ имп./с;  $V$  – скорость скольжения, м/с.

Удельная мощность АЭ:

$$E_{уд} = \frac{\Delta E}{\Delta l} = \frac{\Delta E / \Delta t}{\Delta l / \Delta t} = \frac{W}{V}, \text{ усл.ед./м}$$

где  $\Delta E$  – энергия АЭ, выделившаяся с пути трения  $\Delta l$ ;  $W$  – мощность АЭ.

Энергия АЭ:

$$E = \Delta t \bar{A}^2 \dot{N}, \text{ усл.ед.}$$

где  $\bar{A}^2$  – среднеквадратичная амплитуда АЭ, усл.ед.

Мощность АЭ:

$$W = \bar{A}^2 \dot{N}, \text{ усл.ед./с}$$

При механической обработке ( $\Delta l$  – путь резания, м;  $V$  – скорость резания, м/с) удельные параметры АЭ будут также включать в себя долю импульсов АЭ, генерируемых в зоне упруго-пластического деформирования.

Результаты экспериментов по обработке САЭ при сверлении спиральным сверлом представлены в таблице 1 ( $l$  – путь резания,  $t$  – основное время). В качестве примера рассматривается сверление условного отверстия глубиной 5 мм (материал заготовки – чугун СЧ 20) сверлом диаметром 10 мм (материал инструмента Р6М5) на различных режимах резания. Диапазон регистрируемых частот ограничен значением 100 кГц. Регистрация параметров АЭ осуществлялась методом додетекторного счета – подсчитывалось превышение уровня дискриминации (ограничения по амплитуде) отдельными осцилляциями сигнала. Додетекторный счет предпочтительнее в случае регистрации непрерывной АЭ [6], характерной для обработки резанием. Схема экспериментальной установки приведена на рисунке 1.

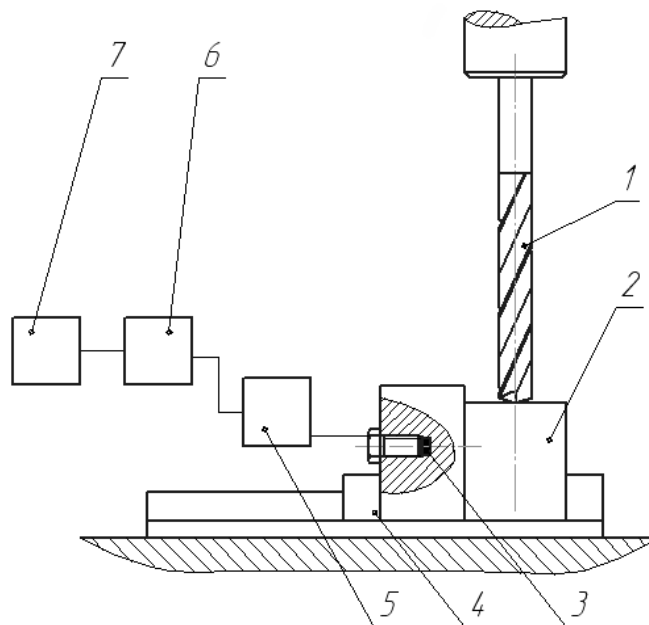


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки. 1 – спиральное сверло, 2 – образец для сверления, 3 – пьезокерамический датчик, 4 – зажимное приспособление станка, 5 – усилитель, 6 – АЦП, 7 – ЭВМ.

Таблица 1 – Экспериментальные данные

Параметры АЭ	$S=0,1 \text{ мм/об}, l=0,334 \text{ м}$		
		$V=0,102 \text{ м/с},$ $t=15,38 \text{ с}$	$V=0,277 \text{ м/с},$ $t=5,662 \text{ с}$

$N$ , имп.	33480	15239	10862
$\dot{N}$ , имп./с	2176	2691	2715
$N_{уд}$ , имп./м	21324	9706	6918
$\overline{A^2}$ , усл.ед.	9,238	15,17	18,038
$E$ , $10^4$ усл.ед.	30,92	23,11	19,58
$W$ , $10^4$ усл.ед./с	2	4,08	4,89
$E_{уд}$ , $10^4$ усл.ед./м	19,69	14,71	12,47
Параметры АЭ	$S=0,47$ мм/об, $l=1,57$ м		
	$V=0,102$ м/с, $t=3,273$ с	$V=0,277$ м/с, $t=1,204$ с	$V=0,392$ м/с, $t=0,85$ с
$N$ , имп.	5067	3323	2418
$\dot{N}$ , имп./с	1548	2759	2844
$N_{уд}$ , имп./м	15170	9949	7239
$\overline{A^2}$ , усл.ед.	19,935	32,841	39,064
$E$ , $10^4$ усл.ед.	10,1	10,9	9,44
$W$ , $10^4$ усл.ед./с	3,08	9,05	11,1
$E_{уд}$ , $10^4$ усл.ед./м	30,23	32,63	28,26

Экспериментальные данные имеют оценочный характер и предназначены для количественной оценки САЭ при сверлении спиральным сверлом; необходимы для формирования технических требований к аппаратуре для регистрации АЭ; содержат информацию об энергоемкости АЭ на различных режимах резания; могут служить для установления корреляционных зависимостей с параметрами обработки.

#### Литература

1. Баранов В.М., Кудрявцев Е.М., Сарычев Г.А., Щавелин В.М. Акустическая эмиссия при трении. – М.: Энергоатомиздат, 1998 – 256 с.
2. Барзов А.А. Эмиссионная технологическая диагностика. Библиотека технолога. М.: Машиностроение, 2005. 384с.: ил.
3. Акустическая эмиссия в экспериментальном материаловедении / Н.А. Семашко, В.И. Шпорт, Б.Н. Марьин и др. Под общей ред. Д-ра техн. Наук, проф. Н.А. Семашко, канд. техн. Наук В.И. Шпорта. М.: Машиностроение, 2002. 240 с. ил.
4. ГОСТ 27655-88. Акустическая эмиссия. Термины, определения и обозначения.
5. Иванов В.И., Быков С.П., Рябов А.Н. О критериях оценки степени опасности дефекта по параметрам акустической эмиссии // Дефектоскопия. №2. 1985. С. 62-68.
6. Баранов В.М., Губина Т.В. О регистрации непрерывной акустической эмиссии. // Дефектоскопия. 1988, №5, с. 91–93.

## К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ УРОВНЯ ДИСКРИМИНАЦИИ ПРИ ОБРАБОТКЕ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Огневенко Е.С. – студент, Кряжев Ю.А. - к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Существует целый ряд параметров акустической эмиссии (АЭ), которые лежат в основе функционирования современных систем неразрушающего контроля. Согласно классифика-

ции акустико-эмиссионных приборов и систем [1], основными измеряемыми параметрами акустической эмиссии (ПАЭ) являются суммарный счет, скорость счета, амплитудные характеристики (пиковая амплитуда, среднее и среднеквадратичное значения, амплитудное распределение) сигнала акустической эмиссии (САЭ), а также энергия АЭ. Все перечисленные параметры представлены в стандарте [2]. Современные системы регистрации и обработки АЭ информации оперируют также дополнительными ПАЭ: время прихода, время нарастания, длительность и др. Однако суммарный счет и его производная - скорость счета являются наиболее простыми для регистрации ПАЭ, и одни из первых были применены для классификации источников АЭ в стандарте ASTM [3].

Суммарный счет АЭ (*total emission*)  $N$  [имп.] – число зарегистрированных превышений импульсами АЭ установленного уровня дискриминации (ограничения) за интервал времени наблюдения.

Скорость счета АЭ (*acoustic emission count rate*)  $\dot{N}$  [имп./с] – отношение суммарного счета АЭ к интервалу времени наблюдения.

Анализ ряда литературных источников [3-6 и др.] говорит о том, что эти параметры наиболее часто используются авторами в количественной оценке АЭ.

Существенное влияние на регистрацию суммарного счета, скорости счета, оказывает целый ряд факторов: условия протекания акустико-эмиссионных процессов (дискретная или непрерывная АЭ), характеристика измерительной аппаратуры и акустического тракта, способ регистрации (додетекторный, последетекторный), способ фильтрации шумов (акустико-эмиссионных помех) и т.д. Наряду с перечисленными факторами существует непосредственное влияние уровня дискриминации на регистрируемые параметры АЭ. Стоит отметить, что обработка последовательности САЭ осуществляется по двум направлениям: по низкочастотной (НЧ) и высокочастотной (ВЧ) составляющей САЭ. При этом, говоря о НЧ составляющей, имеют в виду количество превышений порога ограничения импульсов с энергией выше уровня дискриминации (регистрация огибающих сигнала или последетекторный счет), а ВЧ составляющая связана с регистрацией превышений порога ограничения отдельными осцилляциями САЭ (додетекторный счет). В обоих случаях ввиду того, что выбор уровня дискриминации производится произвольно, параметры суммарного счета и его производной имеют неоднозначное значение. Вследствие этого существует серьезное искажение и неверное интерпретирование информации, полученной путем анализа параметров суммарного счета и скорости счета АЭ.

Как правило, порог ограничения устанавливается выше уровня шумов, или обработка информации производится в более высоком диапазоне частот (как правило, спектр шумов ограничен сверху частотами 20-40 кГц [4]). Однако при этом неизбежно теряется часть САЭ в низкочастотном диапазоне, в то же время волны напряжения при распространении в объеме твердого тела испытывают амплитудно-фазовые искажения тем больше, чем больше их частота [5]. Кроме того, с увеличением частоты существенно возрастает затухание упругих волн напряжений. Это обстоятельство требует установки преобразователя АЭ в непосредственной близости от источника АЭ, что не всегда возможно в условиях технологической диагностики (например, при установке датчика в тело режущего инструмента, необходимость смены инструмента при затуплении делает невозможным применение метода АЭ в условиях производства). Таким образом, существует проблема обоснованного выбора уровня дискриминации при обработке САЭ в области низких частот (в присутствии шумов).

В настоящей работе рассматривается способ выбора уровня дискриминации основанный на амплитудном анализе шумов, в случае регистрации АЭ процесса сверления спиральным сверлом. Схема экспериментальной установки приведена на рисунке 1.

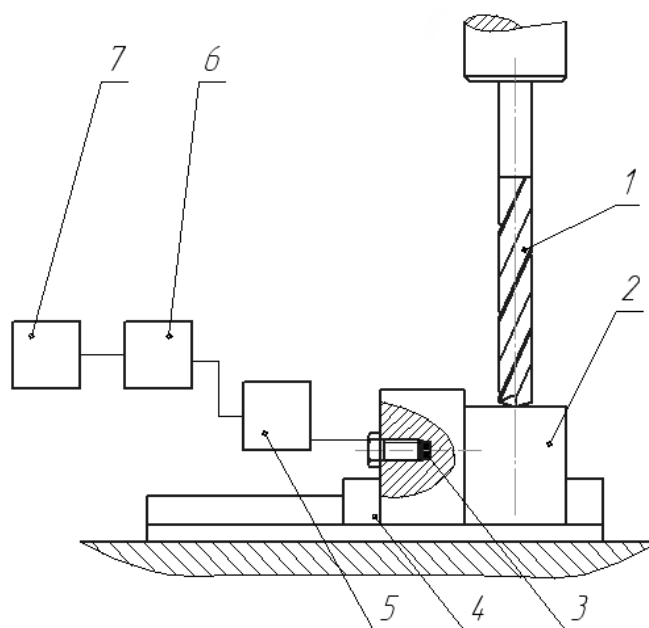


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки. 1 – спиральное сверло, 2 – образец для сверления, 3 – пьезокерамический датчик, 4 – зажимное приспособление станка, 5 – усилитель, 6 – АЦП, 7 – ЭВМ.

В качестве преобразователя АЭ использовался пьезокерамический датчик на основе цирконаттитаната свинца ЦТС-19. САЭ регистрировался посредством АЦП L-Card C780 (диапазон воспринимаемых частот от 1 Гц до 100 кГц). Сверление производилось на станке 2Н135. Материал образцов для сверления – чугун СЧ 20.

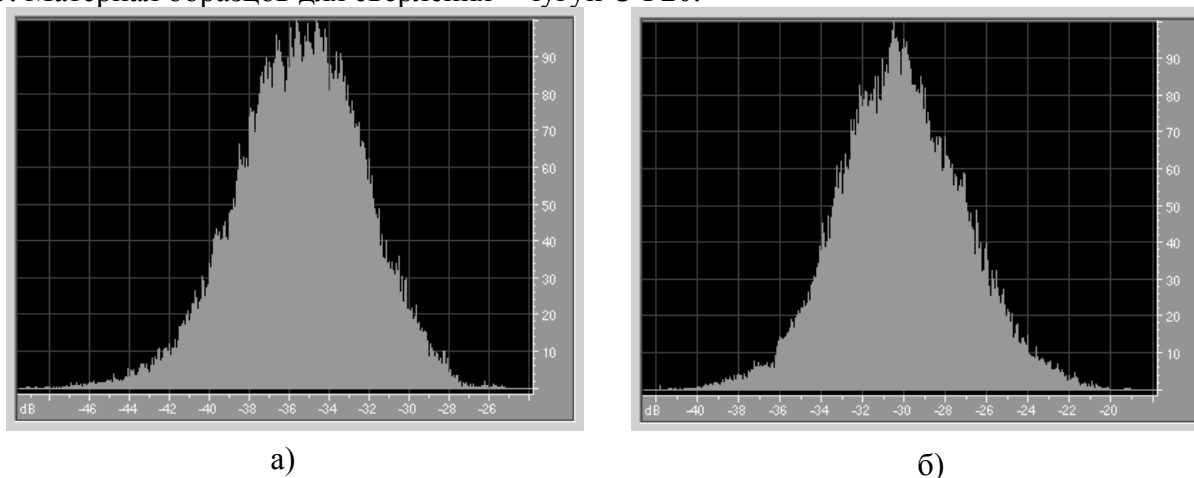


Рисунок 2 – Амплитудное распределение шумов: а –  $V=0,102$  м/с; б –  $V=0,392$  м/с.

Спектральный и амплитудный анализ АЭ при сверлении спиральным сверлом показывает, что диапазон шумов ограничен значением 10 кГц (вне зависимости от режимов резания), средняя амплитуда  $\bar{A}$  шумов возрастает с увеличением скорости резания  $V$  (значению  $V=0,102$  м/с соответствует  $\bar{A}=-35$  дБ,  $V=0,277$  м/с –  $\bar{A}=-32$  дБ,  $V=0,392$  м/с –  $\bar{A}=-30$  дБ). При этом амплитудное распределение деформируется и смещается в сторону больших значений амплитуд (рисунок 2). На протяжении процесса обработки амплитудно-частотные характеристики шумов не изменяются.

Амплитудное распределение САЭ позволяет с достаточной точностью определить уровень дискриминации. На рисунке 3 видно, что закон распределения амплитуд как для шумов, так и для «полезного» сигнала (соответствующего процессу обработки) близок к нормальному, также присутствует зона с минимальным количеством зарегистрированных импульсов с амплитудой -28 дБ. Анализ амплитудного распределения шумов регистрируемых до момента

начала обработки также говорит об ограничении диапазона амплитуд значением  $-28$  дБ (рисунок 2, а).

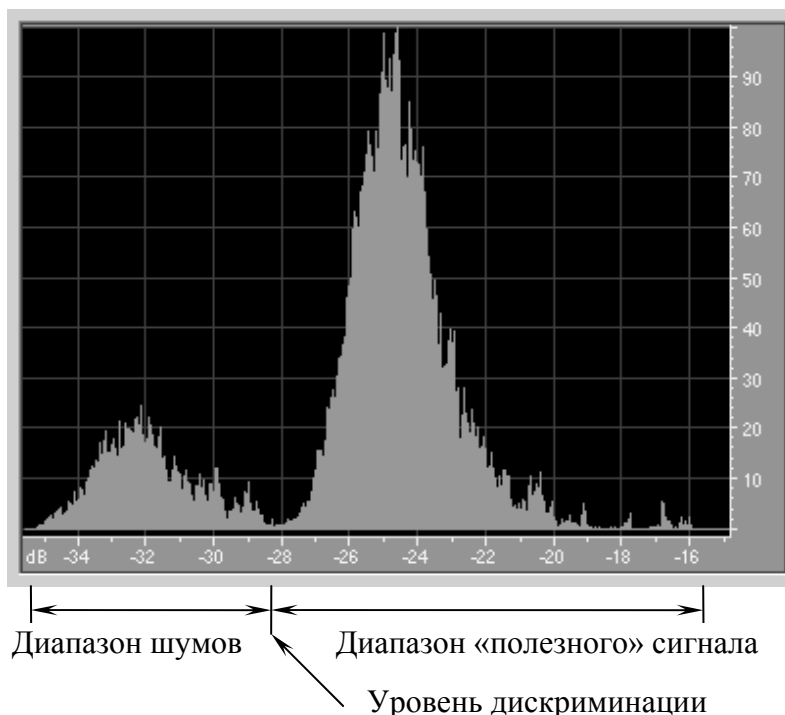


Рисунок 3 – Амплитудное распределение САЭ при сверлении спиральным сверлом. Режимы резания:  $V=0,102$  м/с,  $S=0,47$  мм/об

Предложенный способ выбора уровня дискриминации позволяет эффективно фильтровать шумы, вызванные работой оборудования, при этом производить обработку параметров АЭ в низкочастотном диапазоне (до 20-40 кГц), что особенно важно при расположении преобразователя АЭ на значительном расстоянии от источника АЭ.

#### Литература

1. Ерминсон А.Л., Муравин Г.Б., Шип В.В. Акустико-эмиссионные приборы и системы // Дефектоскопия. №5. 1986. С. 3–12.
2. ГОСТ 27655-88. Акустическая эмиссия. Термины, определения и обозначения.
3. Иванов В.И., Быков С.П., Рябов А.Н. О критериях оценки степени опасности дефекта по параметрам акустической эмиссии // Дефектоскопия. №2. 1985. С. 62-68.
4. Баранов В.М., Кудрявцев Е.М., Сарычев Г.А., Щавелин В.М. Акустическая эмиссия при трении. – М.: Энергоатомиздат, 1998 – 256 с.
5. Свириденко А.И., Мышкин Н.К., Калмыкова Т.Ф., Холодилов О.В. Акустические и электрические методы в триботехнике / Под ред. В.А. Белого. – Мн.: Наука и техника, 1987. – 280 с.

#### ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИГНАЛА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИЗНОСА ИНСТРУМЕНТА

Огневенко Е.С. – студент, Терентьев В.А. – студент, Кряжев Ю.А. - к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Повышение производительности производства на сегодняшний день является основным направлением в машиностроении. Это обеспечивается внедрением в производство автоматизированных систем производства, проектирования, а также использованием новых инструментов и материалов. Одной из основных проблем при использовании новых разработок в резании металлов является выбор режимов резания для конкретного инструмента и материала. На сегодняшний день методы оценки оптимальных режимов резания остаются малопр-

изводительными и довольно неточными. Выбор режимов резания для обработки деталей в производственных условиях является многофакторным процессом, и проведение исследований в лабораторных условиях, как правило, не отражает особенностей обработки деталей в механообрабатывающих цехах. Важно отметить, что построение эмпирических зависимостей стойкости инструмента от режимов резания на основе известных стойкостных испытаний инструмента практически невозможно из-за многообразия условий обработки современного производства, а также экономически невыгодно. Именно поэтому существует необходимость разрабатывать и использовать новые, более производительные методы оценки оптимальных режимов резания, а также повышения их достоверности.

Разработкой нормативов режимов резания и созданием различных рекомендаций по выбору режимов занялась "Комиссия по резанию металлов", созданная на кафедре МТ2 МГТУ им. Н. Э. Баумана в 1935 г. В течении 5 лет были проведены экспериментальные исследования процесса резания практически для всех видов металлорежущего инструмента и по всем основным металлам, применяемым в машиностроении. На основании проведенных экспериментов, число которых превысило 120000, были установлены стойкостные и силовые зависимости для всех основных видов режущих инструментов и основных обрабатываемых материалов. Основные положения методики, которая была использована "Комиссией по резанию металлов" при проведении экспериментальных исследований заключались в следующем [2]:

1. из всех факторов искомой зависимости экспериментальным изменениям подвергается один, тогда как остальные поддерживаются постоянными, т.е. использовалась методика однофакторного эксперимента;
2. исследуемые факторы параметра режима располагались в одной и той же определенной последовательности;
3. испытания инструмента проводились до полного его затупления;
4. обработка опытных данных проводилась в двойной логарифмической системе координат.

При этом в большинстве случаев придерживались следующей последовательности проведения экспериментов:

1. Установление оптимальной геометрии инструмента при постоянных режимах резания и определенной очередности исследуемых геометрических параметров.
2. Установление зависимостей стойкости инструмента от подачи и глубины резания при постоянной скорости резания и оптимальной геометрии инструмента.
3. Установление зависимостей стойкости инструмента от скорости резания при постоянных глубине резания, подаче и оптимальной геометрии.

Данная методика является основной для оценки оптимальных режимов резания. Основным фактором износа инструмента является температура резания, которая в большей степени зависит от скорости резания и в меньшей от подачи и глубины резания. На основе этих факторов существуют и другие методики экспресс оценки выбора оптимальных режимов резания:

- определение зависимости от температуры резания от параметров резания, а как следствие – зависимость износа инструмента от параметров резания. Температура измеряется с помощью термопары, подводимой максимально близко к зоне резания. Неточность этой методики состоит в неточности измерения температуры.

- измерение сил резания при различных режимах

- анализ виброактивности инструмента при различных режимах резания, зависимость виброактивности инструмента от текущего износа и интенсивности износа инструмента.

- определение стойкости инструмента различными методами, при условии изменения геометрии или качества заточки режущей части.

- определение величины износа режущей части инструмента после некоторого времени работы (или пройденного пути) при различных величинах параметров резания.



Все эти методы предполагают продолжительные испытания, многократный износ инструмента, определение значительных поправок и погрешностей. Одним из новых методов определения оптимальных режимов резания является метод акустической эмиссии.

Метод акустической эмиссии относится к акустическим методам неразрушающего контроля и технической диагностики. В основе метода лежит физическое явление излучения волн напряжений при быстрой локальной перестройке структуры материала. Метод акустической эмиссии, как структурно чувствительный, обеспечивает обнаружение процессов пластической деформации, собственно разрушения и фазовых переходов. Указанные свойства акустико-эмиссионного метода дают возможность формировать адекватную систему классификации дефектов и критерии оценки технического состояния объекта, основанные на реальном влиянии дефекта на прочность и работоспособность объекта [1]. Преимущества использования этого метода в качестве экспресс оценки выбора оптимальных режимов резания состоит в отсутствии необходимости многочисленных и продолжительных опытов, а также предоставлением наиболее полной и точной информации о процессах, происходящих в зоне резания.

Литература:

1. ГОСТ 52727-2007 Акустико-эмиссионная диагностика. Введ. 2007-07-14. – М. : Стандартинформ .2007. 11 с.
2. Электронный журнал "ИНЖЕНЕРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ" №6 Июнь 2004

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФИЛЯ ВИТКОВ РЕЗЬБЫ В СТЕКЛОПЛАСТИКАХ

Лебедев П.В. - магистрант, Марков А.М. - д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Процесс формирования витков резьбы в анизотропных материалах метчиками, имеет некоторые особенности, отрицательно сказывающиеся на способности резьбового соединения воспринимать рабочие нагрузки. Ключевыми факторами, влияющим на погрешности профиля витков резьбы, и как следствие, лимитирующим рабочие нагрузки, являются отсутствие жесткого базирования и дополнительного формообразующего движения за счет механизма станка. Другими словами центрирование метчика в заранее изготовленных отверстиях выполняют элементы режущих зубьев инструмента. Кроме того, боковые поверхности нарезанных витков резьбы, контактируя с боковыми сторонами зубьев метчика, выполняют функции механизма продольной подачи станка, обеспечивая дополнительное движение на шаг резьбы.

Однако значительные упругие свойства стеклопластиков, влияющие на величину уширения отверстия в процессе механической обработки, способствуют образованию погрешностей витков профиля резьбы. Для рассмотрения механизма образования отклонений геометрической формы обратимся к рисунку 1, на котором схематично изображен процесс нарезания резьбы в деталях из стеклопластиков.

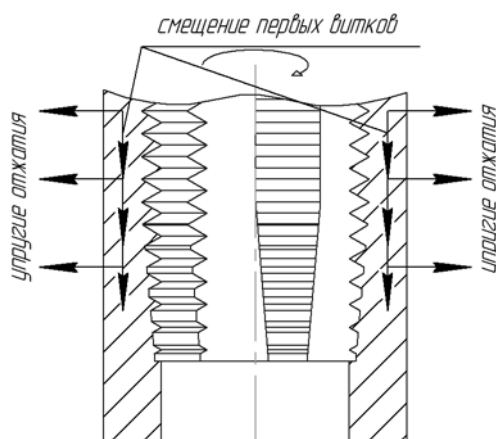


Рисунок 1 – Схема нарезания резьбы

Из рисунка следует, что помимо состояния (характеризующегося степенью энтропии армирующих волокон и местными повреждениями наполнителя) поверхностного слоя, полученного на предыдущем переходе, на величину погрешностей будет влиять изменение диаметра отверстия вследствие упругих деформаций в процессе механической обработки. При этом максимальная величина отжатий будет наблюдаться на входе и выходе инструмента в отверстие, то есть в областях с наименьшей жесткостью. В этом случае в вышеозначенных зонах профиль витков резьбы будет частично выходить из контакта с режущими зубьями инструмента. Такое изменение условий контакта в дальнейшем приведет к непостоянству внутреннего и наружного диаметров нарезаемой резьбы. Однако величины погрешностей диаметров вероятнее всего не будут достигать критических значений, пагубно сказывающихся на работоспособности резьбового соединения в целом.

В этом случае большее влияние на надежность резьбового соединения будут оказывать как перераспределение напряжений в теле витков резьбы, направляющих режущий инструмент (Рисунок 2), так и возможное биение метчика, способствующее выкрашиванию дисперсного наполнителя. Причем первый фактор в значительной мере будет определять концентрацию напряжений в вершине профиля резьбы, вследствие выхода из контакта впадины витка, и тем самым приводя к выкрашиванию наполнителя и образованию новых концентраторов напряжения. В этом случае в наиболее неблагоприятных условиях окажутся первые витки резьбы, на которые в дальнейшем придется около трети рабочей нагрузки, воспринимаемой резьбовым соединением. Кроме того, для внутренних резьб, напряжения, вызванные приложенной нагрузкой, будут преимущественно действовать на поверхностях, имеющих наибольшие погрешности профиля (Рисунок 2).

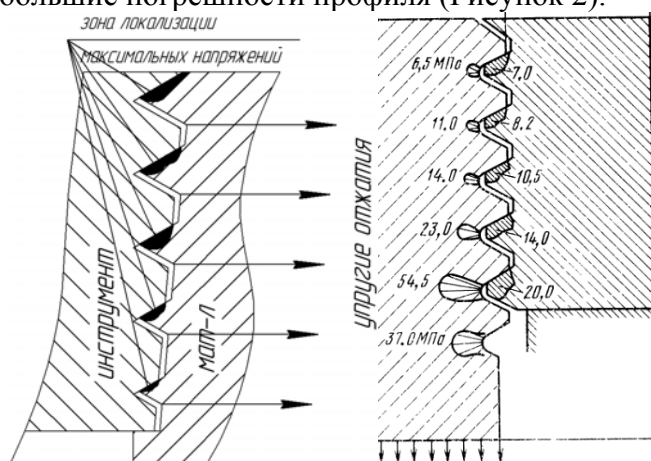


Рисунок 2 – Отклонение профиля витков резьбы в процессе механической обработки и теоретическое распределение напряжений в болтовом соединении

Влияние биения инструмента на величину погрешностей профиля витков резьбы будет определяться, прежде всего, упругими отжатиями материала в процессе механической обработки. Причем величина этих отжатий определяется в основном физико-механическими свойствами обрабатываемого материала, и мало зависит от режимов обработки и геометрии инструмента. При этом установление каких либо эмпирических зависимостей величины уширения отверстия в зависимости от свойств материала не позволит распространить эти зависимости ко всей совокупности анизотропных материалов. Поскольку упругие отжатия определяются совокупность факторов, которые могут существенно изменяться от образца к образцу.

В этой связи наиболее эффективным способом устранения вышеозначенных недостатков будет применения резьбонарезного инструмента соответствующей конструкции, позволяющей снизить величину упругих отжатий. Предварительно можно сказать, что увеличение режущей части  $l_p$  метчика (рисунок 3), то есть уменьшение угла  $\phi_0$ , благоприятно скажется на

процессе формирования витков резьбы. Это связано с тем, что меньшие толщины припуска, приходящегося на режущий зуб инструмента, будут способствовать уменьшению упругих отжаты и как следствие уменьшению погрешностей профиля резьбы.

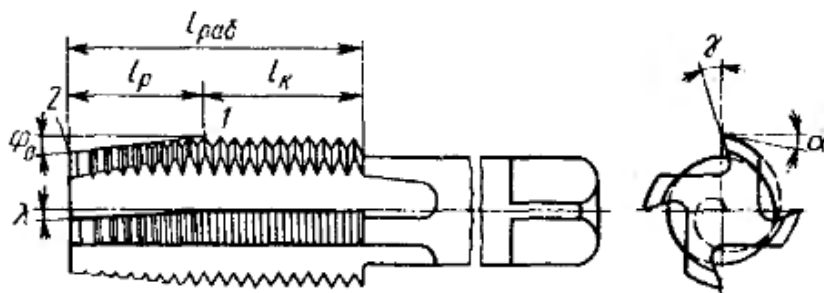


Рисунок 3 – Геометрические и конструктивные параметры резьбонарезного метчика

### УСЛОВИЯ ПРОЧНОСТИ НАРУЖНОЙ РЕЗЬБЫ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКА

Лебедев П.В. - магистрант, Марков А.М. - д.т.н., профессор  
 Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Существенной особенностью стеклопластиков, изготовленных на основе стеклотканей (стеклотекстолиты), направленных стеклонитей (стекловолокниты) и некоторых других типов является ярко выраженная анизотропия их физико-механических свойств. Анизотропией обладают упругие и прочностные свойства стеклопластиков их способность к деформированию во времени (ползучесть), способность к длительной прочности и другие физико-механические свойства.

Упомянутые типы стеклопластиков при обычных температурах ведут себя почти до момента разрушения как упругие тела, подчиняющиеся закону Гука. Разрушение стеклопластиков при обычных температурах носит, таким образом, в основном хрупкий характер. По указанным причинам для исследования кратковременных деформаций стеклопластиков могут быть использованы методы классической теории упругости анизотропного тела.

Однако сложность теории прочности анизотропных стеклопластиков обусловлена рядом особенностей механических свойств этих материалов. В условии прочности должны быть учтены такие особенности прочностных свойств рассматриваемых материалов как:

- различие пределов прочности на растяжение и сжатие по разным направлениям;
- различие пределов прочности на растяжение и сжатие между собой по каждому направлению (что связано с разным механизмом разрушения);
- зависимость пределов прочности на сдвиг от направления касательных напряжений.

Ниже приведена формула (1) выражающая условия прочности анизотропных тел для напряженного состояния, изображенного на рисунке 1. Такой случай действия напряжений характерен для витков резьбы болтового соединения работающего на растяжение. Однако вид тензора может существенно различаться для отдельных поверхностей соединения в целом и в общем случае определяются видом напряженного состояния.

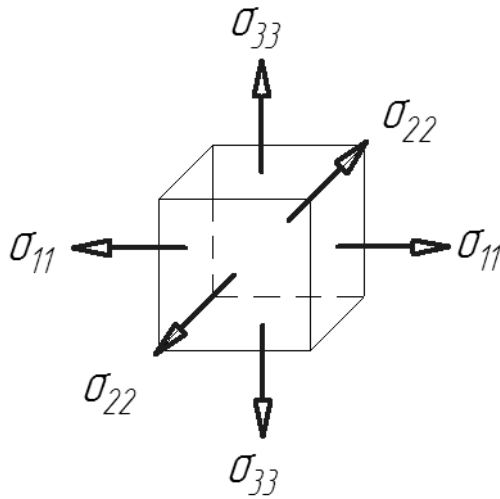


Рисунок 1 – Вид напряженного состояния

$$\begin{aligned}
 & \frac{\sigma_{B1}^- - \sigma_{B1}^+}{2\sigma_{B1}^- \sigma_{B1}^+} \sigma_{11} + \frac{\sigma_{B2}^- - \sigma_{B2}^+}{2\sigma_{B2}^+ \sigma_{B2}^-} \sigma_{22} + \frac{\sigma_{B3}^- - \sigma_{B3}^+}{2\sigma_{B3}^+ \sigma_{B3}^-} + \frac{1}{2} \left\{ \left( \frac{\sigma_{B1}^+ + \sigma_{B1}^-}{\sigma_{B1}^+ \sigma_{B1}^-} \right)^2 \sigma_{11}^2 + \left( \frac{\sigma_{B2}^+ + \sigma_{B2}^-}{\sigma_{B2}^+ \sigma_{B2}^-} \right)^2 \sigma_{22}^2 + \left( \frac{\sigma_{B3}^+ + \sigma_{B3}^-}{\sigma_{B3}^+ \sigma_{B3}^-} \right)^2 \sigma_{33}^2 + \right. \\
 & + \left[ \left( \frac{\sigma_{B1}^+ + \sigma_{B1}^-}{\sigma_{B1}^+ \sigma_{B1}^-} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{B2}^+ + \sigma_{B2}^-}{\sigma_{B2}^+ \sigma_{B2}^-} \right)^2 - \left( \frac{\tau_{B12(45)}^+ + \tau_{B12(45)}^-}{\tau_{B12(45)}^+ \tau_{B12(45)}^-} \right)^2 \right] \sigma_{11} \sigma_{22} + \left[ \left( \frac{\sigma_{B1}^+ + \sigma_{B1}^-}{\sigma_{B1}^+ \sigma_{B1}^-} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{B3}^+ + \sigma_{B3}^-}{\sigma_{B3}^+ \sigma_{B3}^-} \right)^2 - \right. \\
 & \left. \left. - \left( \frac{\tau_{B13(45)}^+ + \tau_{B13(45)}^-}{\tau_{B13(45)}^+ \tau_{B13(45)}^-} \right)^2 \right] \sigma_{11} \sigma_{33} + \left[ \left( \frac{\sigma_{B2}^+ + \sigma_{B2}^-}{\sigma_{B2}^+ \sigma_{B2}^-} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{B3}^+ + \sigma_{B3}^-}{\sigma_{B3}^+ \sigma_{B3}^-} \right)^2 - \left( \frac{\tau_{B23(45)}^+ + \tau_{B23(45)}^-}{\tau_{B23(45)}^+ \tau_{B23(45)}^-} \right)^2 \right] \sigma_{22} \sigma_{33} \left. \right\}^{\frac{1}{2}} \leq 1 \quad (1)
 \end{aligned}$$

Приведенная зависимость отражает общий случай сложноподвижного состояния объемного анизотропного тела. Для определения действительного тензора напряжений болтового соединения воспользуемся методом конечных элементов. Для этого с помощью программного комплекса CosmosWorks была построена качественная модель болтового соединения.

Полученные результаты показали, что для наружной резьбы (болт) максимальные напряжения концентрируются на впадинах витков резьбы. Такой характер распределения напряжений хорошо согласуется с существующей теорией и результатами, представленными в других работах.

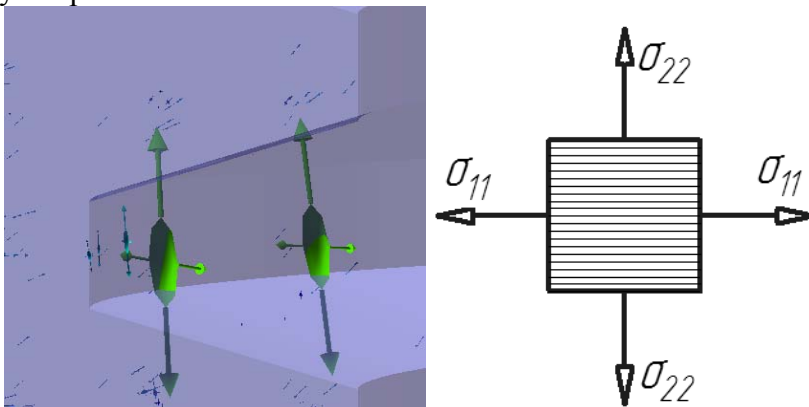


Рисунок 2 – Тензор напряжений, полученный методом конечных элементов

Однако наиболее важным является не сам характер распределения напряжений, а их тензор, имеющий вид, представленный на рисунке 2.

$$\frac{\sigma_{B1}^- - \sigma_{B1}^+}{2\sigma_{B1}^- \sigma_{B1}^+} \sigma_{11} + \frac{\sigma_{B2}^- - \sigma_{B2}^+}{2\sigma_{B2}^- \sigma_{B2}^+} \sigma_{22} + \frac{1}{2} \left\{ \left( \frac{\sigma_{B1}^+ + \sigma_{B1}^-}{\sigma_{B1}^+ \sigma_{B1}^-} \right)^2 \sigma_{11}^2 + \left( \frac{\sigma_{B2}^+ + \sigma_{B2}^-}{\sigma_{B2}^+ \sigma_{B2}^-} \right)^2 \sigma_{22}^2 - \left[ \left( \frac{\sigma_{B1}^+ + \sigma_{B1}^-}{\sigma_{B1}^+ \sigma_{B1}^-} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{B2}^+ + \sigma_{B2}^-}{\sigma_{B2}^+ \sigma_{B2}^-} \right)^2 - \left( \frac{\tau_{B45}^+ + \tau_{B45}^-}{\tau_{B45}^+ \tau_{B45}^-} \right)^2 \right] \sigma_{11} \sigma_{22} \right\} \leq 1 \quad (2)$$

Такой случай напряженного состояния, соответствующий условию прочности (2) позволяет свести расчет наружной резьбы, изготовленной в деталях из стеклопластика, к более простой зависимости. Тем самым существенно упрощая расчет витков на прочность. Однако следует отметить тот факт, что зависимость (2) не применима для расчета внутренних резьб (гаек), так как в этом случае тензор напряжений будет иметь вид, изображенный на рисунке 1.

## ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ПРЕССОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ТОНКОСТЕННЫМИ ВТУЛКАМИ

Мигун Н.А. – магистрант, Буканова И.С. – ст. преподаватель,  
Роговой В.М. – к.т.н., доцент, Ятло И.И. – к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

По способу сопряжения деталей в прессовых посадках различают соединения получаемые: а) путем приложения осевой силы, обеспечивающей взаимное смещение сопрягаемых деталей в заданное положение; б) за счет температурных деформаций одной из деталей (или обеих), вводимых без натяга одна в другую (термические способы).

Первый способ носит название продольной запрессовки, наиболее распространен и легко выполним, не требует специального оборудования.

Второй способ - поперечная запрессовка осуществляется нагревом охватывающей детали или охлаждением охватываемой детали. Охлаждающей средой является твердая углекислота (-79°C) или жидкий азот (-196°C). В обоих случаях необходимая прочность соединения ( $P_p$  и  $M_{кр}$ ) достигается созданием при сборке монтажного натяга, который определяет величину контактного давления, возникающего на сопрягаемых поверхностях.

Эксплуатационная прочность зависит от многих конструкторско-технологических факторов, макро- и микрогеометрии сопрягаемых поверхностей, отклонения их формы от цилиндричности, фактического натяга между сопрягаемыми деталями и т.д.

Так, например, при продольной запрессовке часть микронеровностей деформируется или срезается, снижая напряженно-деформированное состояние соединения. При расчетах это учитывается снижением табличного (стандартного) натяга на величину смятия и среза вершин неровностей:  $\Delta_{\phi} = \Delta_T - 1,2 (R_{z1} + R_{z2})$ .

При создании соединений поперечной запрессовкой такого явления не происходит.

Сопрягаемые поверхности не разрушаются. Кроме того, фактические натяги, принятые по стандартам на посадки с гарантированным натягом, дают показатели прочности в довольно больших пределах, что отражено в таблице 1.

Таблица 1

Узел, размер	$\Delta_3$ , мкм		$P_p$ , Н		$M_{кр}$ , Нм	
	min	max	min	max	min	max
шатун $\varnothing 56 \frac{H_7}{r_6}$	44	194	6770	20600	190	576
шестерня $\varnothing 46 \frac{H_7}{r_6}$	24	101	2440	10300	52	220

Процесс дорнования отверстий втулок, установленных в корпус с зазором по характеру контакта сопрягаемых поверхностей аналогичен поперечной запрессовке. В этом случае за счет радиальной упруго-пластической деформации стенки втулки создается натяг запрессовки, микронеровности взаимно внедряются, создавая механическое сцепление, исправляются погрешности формы наружного диаметра втулки, что увеличивает фактическую площадь контакта, а следовательно, и прочностные показатели соединения.

Особенно выгоден такой метод получения прессовых соединений с тонкостенными втулками ( $d_1/d_2 \leq 1,2$ ), когда продольной запрессовкой с натягом практически невозможно получить требуемый натяг вследствие радиальной и осевой деформации втулки. При таком методе не требуется дополнительная обработка отверстия втулки, т.к. дорнование обеспечивает точность отверстия, с одновременным обеспечением необходимой шероховатости и повышенной микротвердости.

Следовательно, процесс дорнования является одним из наиболее выгодных процессов при создании прессовых соединений с тонкостенными втулками, которой одновременно обеспечивает прочностные и точностные показатели соединения.

### ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ ДЕТАЛЕЙ НА ПРОЧНОСТЬ НЕПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ДОРНОВАНИЕМ

Мигун Н.А. – магистрант, Буканова И.С. – ст. преподаватель, Ятло И.И. – к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Механические свойства материалов влияют на качество неподвижных соединений. Основной характеристикой материала при дорновании является его сопротивление деформированию. С увеличением сопротивления металла деформированию, которое в некоторой степени связано с твердостью, прочность неподвижного соединения увеличивается во всем диапазоне принятых натягов дорнования.

Из графика, приведенного на рисунке 1, видно, что усилие распрессовки  $P_p$  больше у соединений сталь – сталь (кривая 3), чем у соединений латунь – сталь (кривая 2), так как сопротивление деформированию у стали больше, чем у латуни.

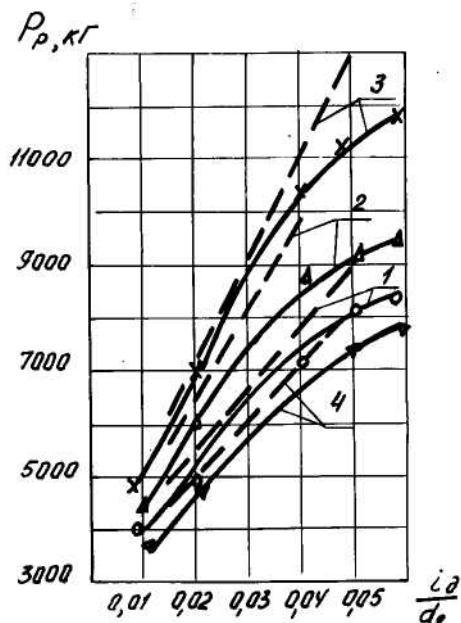


Рисунок 1 – Зависимость усилий распрессовки  $P_p$  от относительного натяга дорнования  
Сплошные линии – экспериментальные данные, пунктирные – расчетные данные  
Материалы: 1 – втулка – латунь ЛС59-1, корпус – сталь 45;  
2 – втулка – сталь 40Х, корпус – серый чугун СЧ21-4С;

- 3 – втулка и корпус – сталь 40Х;  
 4 – втулка – латунь ЛС59-1, корпус – серый чугун СЧ21-4С.  
 ( $d_0 = 20$  мм;  $d_1/d_2 = 1,6$ ;  $D_1/D_2 = 2,0$ )

Для соединений, состоящих из латунной втулки и чугунного корпуса и обработанных с теми же натягами дорнования, кривая зависимости  $P_p$  от натяга (кривая 4) имеет меньший угол наклона к оси абсцисс, что можно объяснить меньшим значением коэффициента трения чугуна при распрессовке соединений и слабыми упругими свойствами этого материала. Отмечено, что рост прочности неподвижного соединения в разных диапазонах относительных натягов не одинаков. Интенсивный рост величины  $P_p$ , как показывает график на рисунке 1, происходит до величины относительного натяга  $i_d/d_0 = 0,035$ , а затем заметно снижается. Очевидно, эта величина относительного натяга дорнования соответствует состоянию конца полупругого периода материала втулки. С дальнейшим повышением натяга дорнования наступает период полной перегрузки материала втулки. Однако рост величины  $P_p$  продолжается в связи с тем, что пластичный материал втулки заполняет микровпадины корпуса.

Нижнюю границу применяемых величин натяга дорнования можно считать независимой от истинного сопротивления металла пластическому деформированию и принимать её равной  $i_d/d_0 = 0,015$ . Исходя из практической целесообразности, верхней границей диапазона применения относительных натягов для материалов с большим сопротивлением деформированию можно рекомендовать величину  $i_d/d_0 = 0,035$ , а для материалов с меньшим сопротивлением -  $i_d/d_0 = 0,03$ .

При дорновании неподвижных соединений, состоящих из одинаковых материалов, но в разных термических состояниях (закаленных, нормализованных и т.д.) можно получить различные результаты прочности соединений. Для подтверждения этого были изготовлены втулки и корпуса из стали 40Х. Исследованиям были подвергнуты 4 варианта термического состояния корпусов: 1 - материал в состоянии поставки (НВ 165);

2- нормализованные ( $t_{зак} = 860^{\circ}\text{C}$ , выдержка 5 мин., НВ 170); 3 – закаленные с отпуском ( $t_{зак} = 860^{\circ}\text{C}$ , выдержка 5 мин., охлаждение в масле, отпуск в течение 1 часа, НВ 400);

4 – закаленные ( $t_{зак} = 860^{\circ}\text{C}$ , выдержка 5 мин., охлаждение в масле, НВ 475). Материал втулок во всех случаях принимался в состоянии поставки (НВ 165). Шероховатость сопрягаемых поверхностей соответствовала  $R_a = 2,0$  мкм для внутренней поверхности обоймы и  $R_a = 1,25$  мкм – для наружной поверхности втулки. Натяг дорнования  $i_d = 0,5$  мм, натяг или зазор между сопрягаемыми поверхностями составлял 0,02-0,04 мм.

Величина распрессовочных усилий  $P_p$  в зависимости от характера термообработки сопрягаемых деталей приведена в таблице 1, из которой видно, что наибольшее  $P_p$  имеют неподвижные соединения с закаленными (НВ 475) корпусами, несколько меньшее усилие распрессовки  $P_p$  имеют соединения, состоящие из закаленных и подвергнутых отпуску (НВ 400) корпусов и втулок в состоянии поставки. Наименьшее усилие  $P_p$  - у соединений, состоящих из деталей, изготовленных из материала в состоянии поставки (НВ 165). Это объясняется тем, что с повышением твердости корпуса увеличивается сопротивление деформированию, которое оказывает непосредственное влияние на прочность неподвижных соединений, обработанных дорнованием.

Таким образом, с целью повышения показателей прочности неподвижных соединений, охватывающую деталь, по возможности, следует брать с повышенной твердостью.

Таблица 1 - Усилия распрессовки в зависимости от режима и метода термообработки образцов из стали 45

Вид термообработки	Твердость (НВ)	Способ получения соединения	Усилие распрессовки, $P_p$ , кН
Состояние поставки	165	с натягом	80,0
		с зазором	34,0
Нормализация	170	с натягом	127,0

		с зазором	120,0
Закалка с отпуском	400	с натягом	129,0
		с зазором	122,0
Закалка	475	с натягом	134,0
		с зазором	126,0

## ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧИВАНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТВЕРСТИЙ В ДЕТАЛЯХ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКА

Мозговой Н.И. - аспирант, Марков А.М. - д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Обработка отверстий является более сложной, чем обработка наружных поверхностей вращения, так как во многих случаях жесткость инструмента лимитируется размерами отверстия и увеличить ее не представляется возможным; затрудняется отвод стружки; поверхность обработки менее доступна для визуального контроля. Необходимо выдерживать следующие основные параметры: допуск на диаметр; шероховатость сечения; допуск круглости; допуск профиля продольного сечения; допуски расположения отверстия относительно других отверстий и базовых поверхностей.

Маршрут обработки отверстий в ответственных деталях из стеклопластика может содержать такие операции, как сверление, рассверливание, досверливание и растачивание, для данных процессов используется режущий инструмент такой, как сверла и резцы со сменными многогранными пластинками. В современных рыночных условиях необходимо снижать себестоимость обработки, при этом, не снижая производительность. Выполнение его возможно только при оптимизации маршрута механической обработки отверстий в деталях из стеклопластика.

Однако в проведенных к этому времени исследованиях, нет однозначных рекомендаций по формированию маршрута обработки отверстий в деталях из стеклопластика. Нерациональное формирование маршрута обработки отверстий приводит к увеличению времени обработки и снижению производительности. Кроме того, нет рекомендаций по управлению видом образующейся стружки с помощью геометрических параметров режущего инструмента, режимов резания, что приводит к получению элементной стружки с образованием мелкой пыли в виде летучих бесцветных кристаллов, состоящих из частиц стекла и затвердевшего связующего, а также фенолосодержащий газ, имеющий характерный токсичный запах. Все это негативно воздействует на дыхательные пути, кожный покров и работоспособность человека.

В связи с вышеизложенным можно сделать вывод о том, что проектирование оптимального маршрута является многовариантной задачей, для успешного решения которой необходима математическая модель процесса формирования основных показателей качества отверстия. Построение математической модели требует решения следующих задач:

1. Установить зависимости параметров точности формы от режимов обработки отверстий.
2. Установить зависимости силы резания от режимов обработки и типов сменных многогранных пластин при растачивании деталей из стеклопластика.
3. Исследовать влияние режимов резания на вид образующейся стружки.

В настоящий момент были проведены экспериментальные исследования с использованием методики планирования экспериментов, в частности – полный факторный эксперимент. Варьируемыми параметрами являются режимы резания: скорость резания  $V$ , м/мин, подача  $S$ , мм/об. Контролируемыми параметрами являются: отклонение от круглости обработанной поверхности, вид стружки, износ инструмента. Для выявления областей устойчивого стружкодробления проводились однофакторные эксперименты по установлению взаимосвязи между видом стружки и режимными параметрами: подачей и скоростью резания.



Правильность рассчитанных результатов проверялась по результатам проведенных в лабораторных условиях исследований. Проводя сравнение износа инструмента, было установлено, что характерный лимитирующий износ по задней поверхности сверл, возникающий при обработке стеклопластиков, наблюдается как при моделировании, так и в условиях эксперимента. Разница в интенсивности износа (рис. 1б) связана со сделанными допущениями.

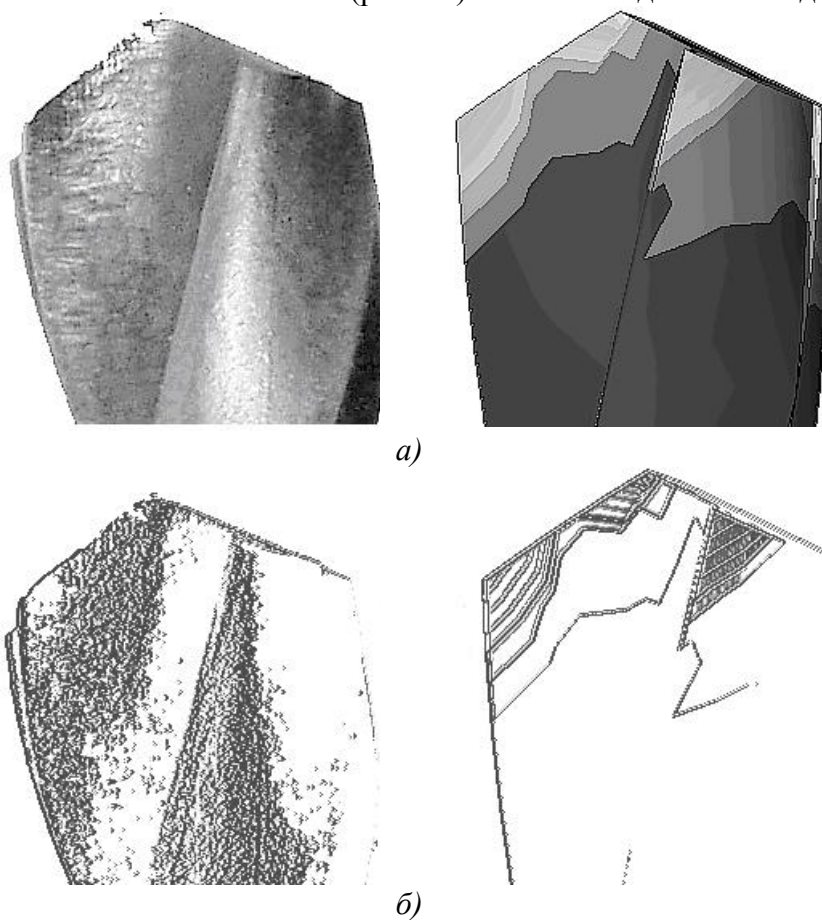


Рисунок 1 – Сравнение полученных результатов:  
а) напряжения, б) интенсивность

Была разработана методика проектирования маршрута обработки отверстий в деталях из стеклопластика и построен алгоритм автоматизированного проектирования операций обработки, позволяющий выбрать оборудование и назначить рациональные режимы обработки в зависимости от требуемых показателей качества обработанной поверхности, а также управлять процессом стружкообразования для снижения воздействия на человека и окружающую среду вредных производственных факторов.

Таким образом, предложенный алгоритм позволяет сформировать маршрут обработки отверстий в деталях из стеклопластика и повысить производительность механической обработки за счет оптимизации процесса проектирования технологической операции для деталей из стеклопластика, а также применение новых технологических решений, направленных на повышение эффективности процесса изготовления отверстия в заготовках из этих материалов.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАСТОЧНОЙ ОПРАВКИ ДЛЯ ГРУППОВОЙ ОБРАБОТКИ НЕЖЕСТКИХ ДЕТАЛЕЙ

Назарова Е.Д. - магистрант, Балашов А.В. к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Одним из направлений унификации технологических процессов является метод групповой обработки деталей. Его основы нашли широкое применение в различных отраслях промышленности.

Групповой метод – это такой метод унификации производства, при котором для групп однородной по тем или иным конструкторско-технологическим признакам продукции устанавливаются однотипные высокопроизводительные методы обработки с использованием однородных и быстроперенастраиваемых орудий производства; при этом обеспечивается экономическая эффективность производства, необходимая быстрота его подготовки и переналадки.

Для реализации этого метода была разработана расточная оправка с расширенным диапазоном настройки растачиваемого диаметра. Для разработки расточной оправки было выбрано два прототипа: патент на изобретение RU 2252841 С1 корпус оправки состоит из двух частей: подвижная и жесткая, а настройка на нужный размер производится посредством перемещения двух винтов грубой и точной настройки и патента на изобретение RU 2247633 С1 настройка на размер реализуется при помощи упругого элемента – кольца и настроечного винта, недостатки данной оправки заключаются в небольшом диапазоне регулирования диаметра обработки.

Обработка прототипов и поиск нового решения велись при помощи построения И-ИЛИ графа. Общее И-ИЛИ дерево в первую очередь представляет интерес как средство компактного представления и хранения информации о многих известных технических решений, а также неизвестных, которые могут быть получены путем комбинирования элементов и признаков известных технических решений. Однако, И – ИЛИ деревья, построенные на основе только известных технических решений, часто содержит мало новых патентоспособных решений. Поэтому И – ИЛИ дерево, полученное на основе известных технических решений, рекомендуется расширять и дополнять для повышения в нем доли новых патентоспособных технических решений. Такое расширение может вестись с помощью метода и фонда эвристических приемов. И-ИЛИ деревья конструкций расточных оправок представлены на рисунке 1.

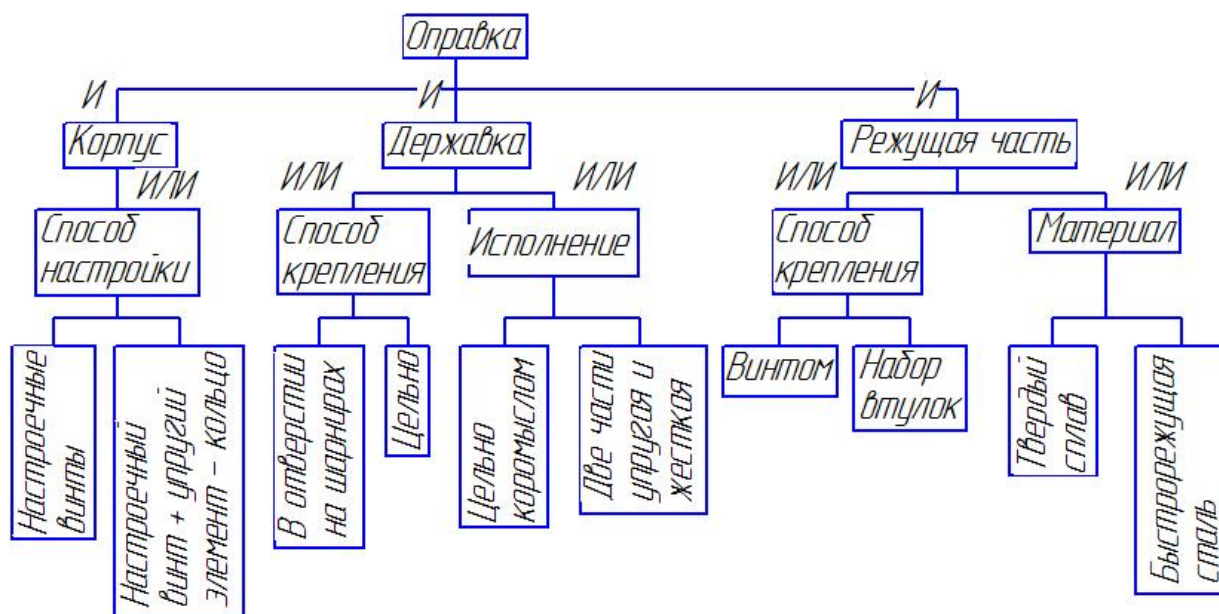


Рисунок 1 – И-ИЛИ граф

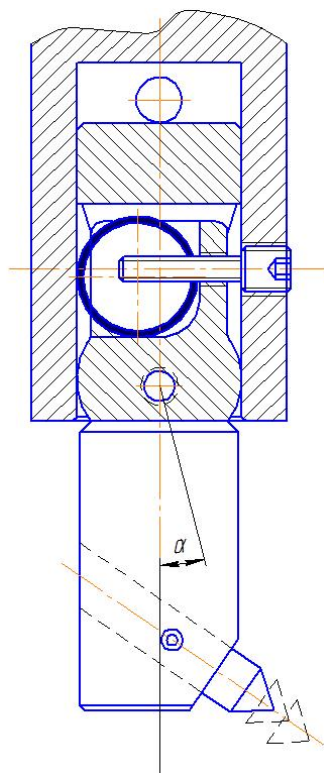


Рисунок 2 – расточная оправка

Синтез конструкций на И-ИЛИ графе позволил выявить новое техническое решение, путем совмещения элементов выбранных прототипов. Расточная оправка представленная на рисунке 2 имеет широкий диапазон изменения регулируемого размера, что необходимо для обработки различных деталей входящих в одну группу. Оправка содержит корпус с резьбой для винта, в осевом отверстии которого на шарнирах смонтирована подвижная державка взаимодействующая с винтом и упругим элементом выполненным в виде кольца. Это позволяет посредством вращения винта поворачивать державку на регулируемый угол  $\alpha$ , в результате изменяются углы в плане, что позволяет улучшить условия резания. Настройка производится при помощи ослабления настроечного винта и последующего выдвижения резца до необходимого диаметра.

#### АНАЛИЗ ПРИНЦИПОВ РАБОТЫ ЩУПОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ

Рогова И.В. – студент, Лабецкий В.М. – к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

В настоящее время в автоматизированном производстве при использовании станков с ЧПУ получил широкое распространение способ контроля размеров обрабатываемых деталей непосредственно на станках с помощью бескабельных измерительных головок с датчиками касания. Согласно некоторым литературным источникам разброс результатов контроля этими датчиками при повторных замерах одной и той же детали может находиться в пределах 0,012 мм. Однако такая точность недостаточна для осуществления отдельных операций измерения и позиционирования, необходимых для более эффективного использования станков нового поколения.

Точность измерений датчиками касания зависит от погрешностей их срабатывания, точности реагирования измерительной системы на сигналы обратной связи, точности координатных перемещений рабочих органов станка, температурных деформаций и других причин.

Погрешность срабатывания напрямую связана с особенностями взаимодействия щупа с измеряемой поверхностью в момент выработки сигнала касания. Выработка сигналов датчиками касания при работе на станках с ЧПУ (исключая КИМ) производится по трем основным принципам: внутреннего размыкания микроконтактов датчика (применяется наиболее часто); внешнего замыкания измерительной цепи через деталь (контакт «щуп-деталь»); изменения индуктивного сопротивления чувствительных элементов датчика.

Анализ схем работы датчиков показывает, что измерительные сигналы при первом и третьем принципах срабатывания являются следствием пространственного изменения положения щупа, в результате чего сигнал посылается с запаздыванием по отношению к моменту касания. Учитывать такое запаздывание сложно, так как часто оно является непостоянным по времени и направлению измерения. При втором принципе сигнал является следствием касания щупом измеряемой поверхности и возникает до изменения положения щупа.

Снижение надежности работы датчика с внешним замыканием измерительной цепи слабых токов из-за возможного искрения и пригораний наконечника щупа не больше чем у датчиков с внутренним размыканием, тем более что электрическая дуга всегда возникает при размыкании. Повысить надежность датчика с внешним замыканием можно довольно просто, если в корпус измерительной головки в цепь подачи сигнала ввести микроэлектронный блок формирования импульса для прерывания возникшего сигнала. Тогда размыкание цепи при отводе датчика будет происходить без образования электрической дуги.

Таким образом, можно ожидать, что принцип работы датчиков с подачей сигнала путем замыкания контактов «щуп-деталь» может повысить точность измерений, а также обеспечить одинаковую возможность измерений в любых направлениях, что позволит вести на станке контроль сложных поверхностей ошупыванием в режиме КИМ.

## ИЗНОСОСТОЙКИЕ ПОКРЫТИЯ В ИНСТРУМЕНТАЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Святкина А.В. - магистрант, Шишкин И.В. – магистрант, Федоров В.А. - к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Одной из основных задач современного машиностроения является производство и использование режущих инструментов, которые обладают высокой работоспособностью. Обеспечение максимизации работоспособности ведет к повышению производительности труда, экономии дорогостоящих материалов, энергии и трудовых ресурсов.

Работоспособность режущего инструмента может быть повышена путем изменения поверхностных свойств инструментального материала, при котором контактная поверхность инструмента будет наиболее эффективно сопротивляться абразивному, адгезионному, коррозионно-окислительному и др. видам износов как при комнатной, так и при повышенной температурах. Так же инструментальный материал должен обладать достаточным запасом прочности при сжатии, изгибе, приложении ударных нагрузок.

Большинство инструментальных материалов обладают лишь несколькими из указанных выше свойств, что резко снижает их область применения. Инструменты из быстрорежущей стали обладают относительно невысокой теплостойкостью, средней твердостью, небольшой прочностью при изгибе и ударной вязкостью. Керамические режущие инструменты имеют повышенную твердость, износостойкость и высокую теплопроводность, но им присущи низкая ударная вязкость и повышенная хрупкость.

Широкое распространение нанесения износостойких покрытий на режущий инструмент обусловлено тем, что их использование дает возможность получать необходимые эксплуатационные свойства; это ведет к увеличению срока службы инструмента и, как следствие, снижению себестоимости готовых изделий.

К наносимым покрытиям в зависимости от материала и условий эксплуатации режущего инструмента, предъявляются своего рода технологические требования, которые можно подразделить на четыре категории.

### 1. Общие требования к покрытиям:

- покрытие должно быть сплошным и иметь постоянную плотность по всему объему;
- стабильность свойств покрытия во времени.

### 2. Требования, учитывающие условия работы инструмента.

Покрытие должно обладать:

- высокой твердостью, превышающей твердость материала инструмента;
- устойчивостью к высокотемпературной коррозии;
- отсутствием схватываемости с обрабатываемым материалом во всем диапазоне температур резания;
- устойчивостью к разрушению при колебании температур и напряжений;
- постоянством механических свойств, даже при температурах, близких к температурам разрушения инструментального материала.

### 3. Требования к технологическим особенностям метода нанесения покрытий.

В процессе нанесения покрытия на инструмент необходимо создавать условия, не оказывающие существенного влияния на физические и кристаллохимические свойства материала инструмента.

### 4. Совместимость свойств материала покрытия со свойствами материала инструмента:

- сродство кристаллохимического строения материала покрытия и инструмента;
- оптимальное соотношение материалов покрытия и инструмента по модулям упругости, к коэффициентам Пуассона и линейного расширения, теплопроводности;
- малая склонность к образованию хрупких вторичных соединений.

Процесс нанесения покрытия на поверхность режущего инструмента определяется как свойствами материала покрытия и инструмента, так и спецификой протекания процессов формирования покрытия. Исходя из вышесказанного, все методы нанесения покрытий можно разделить на две группы.

В первую группу входят методы химического осаждения покрытий из парогазовой фазы (ХОП). Формирование покрытия осуществляется вследствие химических реакций между парогазовыми смесями, состоящих из соединения металлонесителя и носителя второго компонента, являющегося как газотранспортером, так и восстановителем. В процесс формирования покрытия вносят вклад и структура поверхности инструментального материала, и гетеродиффузионные реакции между конденсатом и материалом инструмента. Этот метод применяется при нанесении покрытий на основе карбидов, нитридов, карбонитридов титана, оксида алюминия. Метод ХОП реализуется при температурах 1000-1100°C, этот факт исключает возможность нанесения покрытий данным методом на инструменты из быстрорежущих сталей, которые были подвергнуты термической обработке.

Существует ряд недостатков метода ХОП:

- взрывоопасность и токсичность водорода, как газа-носителя;
- наличие большего количества непрореагировавших компонентов;
- сложность технологического оборудования;
- внутреннее напряжение в слое покрытия;
- невозможность нанесения покрытия на инструмент, имеющий острые режущие кромки.

Вторая группа – это методы физического осаждения покрытий (ФОП). К этим методам относятся: метод получения тонких пленок распылением материалов ионной бомбардировкой (РИБ), метод генерации потока осаждаемого вещества термическим испарением.

Суть метода РИБ состоит в следующем:

1. В вакууме, под действием ионизирующего излучения заданной энергии, осуществляется бомбардировка материала, формирующего покрытие (мишень), что приводит к частичной или полной его ионизации. В качестве данного материала могут выступать металлы (включая тугоплавкие), сплавы (в том числе и многокомпонентные), полупроводники.

2. Происходит ионное распыление, то есть ионы материала падают на рабочую поверхность режущего инструмента (подложку), тем самым, производя процесс формирования покрытия. Данный метод реализуется при давлениях 1-10 Па и напряжениях 0,3-5 кВ.

Возможны два метода ионного распыления: ионно-лучевое и плазменно-ионное распыление. При ионно-лучевом распылении выбивание атомов мишени происходит под действием бомбардировки ее поверхности ионными лучами определенной энергии. В этом случае не требуется подача на мишень отрицательного потенциала. При плазменном распылении мишень из распыляемого материала находится в сильно ионизированной плазме под отрицательным потенциалом и играет роль катода. Положительные ионы под действием электрического поля вытягиваются и бомбардируют мишень, вызывая ее распыление. Существуют следующие разновидности плазменного распыления: катодное, магнетронное, высокочастотное и в несамостоятельном газовом разряде.

Сущность метод генерации потока осаждаемого вещества термическим испарением: вещество нагревают в специальных испарителях до температуры, при которой начинается заметный процесс испарения. Все испарители отличаются между собой в зависимости от способа нагрева испаряемого вещества: резистивного, индукционного, электродугового и др.

Нанесение износостойких покрытий на режущий инструмент является комплексной задачей. Отвечая ряду требований, покрытие, в конечном счете, должно характеризоваться высокой износостойкостью. Следовательно, оно должно обладать высокими термической стойкостью, механическими свойствами и прочностью сцепления с инструментальной основой. Выбор покрытия осуществляется в зависимости от типа обрабатываемого материала и области его применения. Любое покрытие должно обладать максимальной инертностью к обрабатываемому материалу, поэтому необходимо учитывать тип химической связи материала покрытия.

Необходимо отметить, что применение многослойных и композиционных покрытий значительно увеличивает возможность оптимизации их свойств. Методы физического осаждения покрытий, несмотря на некоторые присущие им недостатки (например, невозможность осаждения покрытий в больших углублениях и сложность нагрева подложки в вакууме), в целом наиболее перспективны для нанесения износостойких покрытий на режущие инструменты. Связано это, во-первых, с возможностью точного регулирования технологических процессов и их полной автоматизации. Во-вторых, низкая температура процесса позволяет обрабатывать любые инструментальные материалы и при этом достигать высокой адгезии покрытия с основой. В-третьих, данный метод обладает высокой скоростью формирования покрытия. И, наконец, метод физического осаждения покрытий безопасен для окружающей среды и экономически выгоден.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ РЕЗЕРВЫ УМЕНЬШЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Святкина А.В. – студент, Фёдоров В.А. – к.т.н., доцент

Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

В современном машиностроении применяются различные методы создания стойких к коррозии и механическому износу покрытий из цветных металлов и сплавов напыляемых на поверхность стальных деталей. В нашей стране широкое распространение получили методы электродуговой металлизации, газопламенной металлизации и плазменного напыления, отличающиеся сравнительной простотой применяемого оборудования и достаточно высокой эффективностью процесса напыления расплавляемым порошком или проволокой. Широкому распространению этих производительных методов, позволяющих получать качественные детали, часто мешают сложности, возникающие при предварительной подготовке поверхности под напыление и необходимость соблюдения точных технологических режимов напыления. Мешает и то, что даже при соблюдении всех рекомендуемых требований в ряде случаев прочность соединения покрытия с основой оказывается недостаточной и покрытие отслаивается при воздействии эксплуатационных номинальных или максимально допустимых нагрузок, а также при колебаниях температуры детали. Значительно усложняет задачу расчёта до-

пустимых нагрузок сложность определения напряжённого состояния напылённого слоя в зоне соединения покрытия с основой, возникающего в результате формирования и остывания покрытия на детали.

Можно выделить два основных направления повышения надёжности деталей с напылёнными покрытиями. Традиционно стремятся совершенствовать методы напыления с целью повышения когезионной прочности. Предлагаемый второй путь заключается в анализе характера действия и величины эксплуатационных нагрузок и применения полученных сведений при проектировании технологического процесса изготовления детали с покрытием.

При этом выделяются следующие основные этапы: изготовление детали-основы, подготовка поверхности детали под напыление, напыление покрытия и финишная механическая обработка, если таковая требуется. Основой предлагаемой методики является стремление уменьшить величину напряжений, возникающих в процессе эксплуатации покрытия. Если считать прочность соединения покрытия с основой величиной постоянной и требуемые режимы эксплуатации неизменными, то легко сформулировать основное требование – упругие напряжения в зоне соединения покрытия с основой ненагруженной детали должны быть минимальны или другого знака, чем возникающие при постоянной номинальной нагрузке на деталь. Идеальным является случай, когда при максимальной нагрузке на деталь возникающие от её упругой деформации напряжения в зоне соединения элемента покрытия с основой компенсируют напряжения возникающие от действия упругой деформации покрытия. Естественно, достичь такого положения практически крайне сложно ввиду многообразия действующих факторов при напылении и эксплуатации, а также сложности расчётов деформированного состояния деталей различной конфигурации.

Основными факторами, определяющими величину напряжений в области соединения являются упругие и температурные деформации детали и покрытия. Если предположить, что деталь напыляется и эксплуатируется при одинаковой температуре и, таким образом, разность коэффициентов теплового расширения не проявляется, и действующая сила возрастает от нуля в одном направлении до максимального значения, а затем убывает до нуля, то достичь нулевых значений напряжений в зоне соединения при максимальной нагрузке можно, напыляя покрытие на предварительно максимально нагруженную деталь. Также, если обусловить, что деталь в процессе напыления и эксплуатации не деформируется, можно с учётом различных коэффициентов теплового расширения материалов и максимальной рабочей температуры детали рассчитать до какой температуры необходимо подогреть или охладить основу, для того чтобы напряжения, возникающие в зоне её соединения с покрытием, не превышали допустимые. Теоретически их также можно в ряде случаев полностью компенсировать.

При моделировании необходимо учитывать оба фактора, а также их взаимное влияние. На практике для повышения надёжности соединения покрытия с основой необходимо к обычным операциям подготовки детали к напылению добавить нагружение эксплуатационной нагрузкой или её частью и изменить температуру заготовки до расчётной.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ СИГНАЛА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ ФИЗИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ

Огневенко Е.С. - студент, Брызгалов Е.А. - студент, Кряжев Ю.А. - к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Проведенные исследования работоспособности режущих инструментов показали, что выход из строя по причине истирания рабочих поверхностей составляет около 70% от всех видов разрушений режущих инструментов. Процесс изнашивания режущего инструмента представляет собой сложную зависимость от большого числа факторов, многие из которых являются случайными по своей природе. В связи с этим математическое описание этого явления является слишком громоздким, а расчет требует большого количества времени, вос-



произведение этого физического явления в целях эксперимента в реальных масштабах нежелательно, так как является дорогостоящим. В этих условиях наиболее подходящим методом для изучения данного физического явления является метод физического моделирования.

Физическое моделирование — метод экспериментального изучения различных физических явлений, основанный на их физическом подобии.

Метод состоит в создании лабораторной физической модели явления в уменьшенных масштабах, и проведении экспериментов на этой модели. Выводы и данные, полученные в этих экспериментах, распространяются затем на явление в реальных масштабах.

Метод может дать надёжные результаты, лишь в случае соблюдения физического подобия реального явления и модели. Подобие достигается за счёт равенства для модели и реального явления значений критериев подобия — безразмерных чисел, зависящих от физических (в том числе геометрических) параметров, характеризующих явление. Экспериментальные данные, полученные методом физического моделирования распространяются на реальное явление также с учётом критериев подобия.

Процесс резания сопровождается различными явлениями: выделение тепла, пластические деформации, высокочастотные колебания (акустическая эмиссия) и тд., по которым можно оценивать этот процесс. По результатам предыдущих исследований наиболее информативным явлением является акустическая эмиссия.

Акустическая эмиссия (АЭ) - процесс возникновения упругих волн в результате выброса энергии из локальных источников в структуре материала. Основными источниками эмиссии в металлах являются движения дислокаций, сопровождающие пластическую деформацию или возникновение и рост трещин в структуре под напряжением. Другими источниками акустической эмиссии являются: плавление, кристаллизация, тепловые напряжения, охлаждение, рост напряжения и другие факторы вызывающие движение дислокаций.

Метод акустико-эмиссионного контроля основан на регистрации и последующей обработке акустических сигналов относящихся к АЭ. Метод АЭ контроля реализуется в процессе активного нагружения контролируемого объекта. Для проведения АЭ диагностики к объекту контроля должны быть приложены статические или динамические нагрузки повышением давления при гидравлических или пневматических испытаниях, либо должны быть созданы напряжения механическим нагружением объекта.

АЭ анализ – существенная помощь при испытании материалов и изучении деформации, разрушения и коррозии. Он даёт немедленный ответ поведения материала под напряжением, связанным с деформацией и разрушением материала. АЭ используется также для того, чтобы контролировать химические реакции, включая процесс коррозии и изменения фазы агрегатного состояния.

Главное преимущество АЭ контроля – он не требует доступа ко всей области экспертизы. Таким образом, стоимость испытания - значительно меньше чем контроль обычными методами контроля. Обнаруженные области источников АЭ могут быть обследованы, используя обычные методы.

По сравнению с обычными методами контроля преимущества АЭ технологии в следующем:

- 1) высокая чувствительность к растущим дефектам;
- 2) раннее и быстрое обнаружение дефектов, возможность определения остаточного ресурса;
- 3) контроль в режиме реального времени;
- 4) невысокая стоимость испытаний;
- 5) глобальный контроль - 100%-ый охват контролируемого объекта.

Аппаратура АЭ должна обеспечить акустический охват всего объекта контроля, накопление данных в течении испытаний, а так же анализ данных в режиме реального времени. Современная АЭ аппаратура, построенная с применением цифровой обработки сигнала в режиме реального времени, позволяет выделять АЭ сигнал из шумовой помехи, определять



координаты источников, классифицировать обнаруженные источники, и сохранять результат для дальнейшей обработки.

Для изучения процесса резания была спроектирована установка, которая была разработана на основе известных моделирующих установок профессора Грановского Г.И., общий вид которой показан на рис.1, устанавливается вместо резцедержателя на токарно-винторезном станке модели 16К20. Конструкция моделирующей установки отвечает требованиям жесткости и виброустойчивости при трении образца (индентора) по поверхности вращающейся заготовки (контртела) и при перемещении суппорта станка вдоль контртела. В качестве преобразователя АЭ используется пьезокерамический датчик на основе цирконотитаната свинца ЦТС-19 САЭ регистрирующегося посредством АЦП L-Card C780 (диапазон воспринимаемых частот от 1 Гц до 100кГц). Данная установка позволяет исследовать информативность сигнала акустической эмиссии при физическом моделировании процесса резания, задавая исходные параметры процесса трения: частоту вращения контртела и давление индентора (100...300Мпа). Частота вращения контртела устанавливается при помощи коробки скоростей станка, а давление на поверхность контакта индентора с контртелом устанавливается при помощи прижимного устройства моделирующей установки.

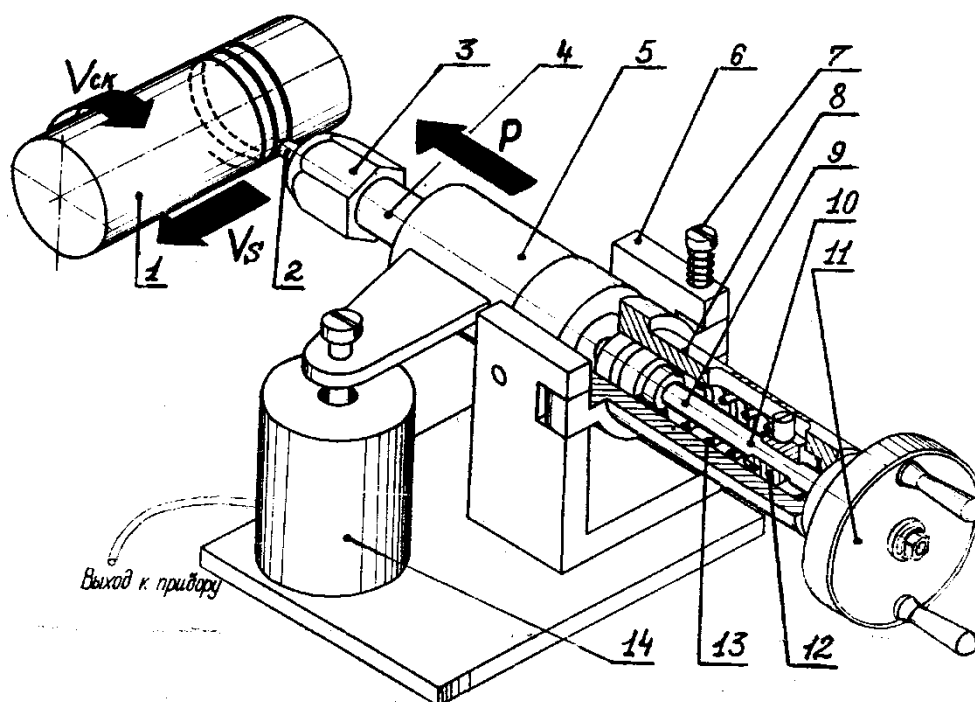


Рисунок 1. Схема работы моделирующей установки. 1-индентор; 2-контртело; 3-гайка; 4-шток; 5-корпус штока; 6-стойка; 7-зажим; 8-корпус зажимного устройства; 9-толкатель; 10-вал; 11-диск; 12-ползун; 13- пружина; 14-датчик давления;

## ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ГРУППОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ОБТАЧИВАНИЯ НЕЖЕСТКИХ ДЕТАЛЕЙ

Федотов А.Н. – магистрант, Балашов А.В. - к.т.н., доцент

Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Современный уровень развития машиностроения характеризуется постоянным повышением требований к качеству, надежности и долговечности технических изделий. По мере создания более прочных материалов в современном машиностроении происходит естественное снижение металлоемкости продукции. В следствии этого сформировался большой класс нежестких деталей широкой номенклатуры: валы, оси, ходовые винты, шпиндели станков, штоки гидроцилиндров и другие детали. Причем более половины нежестких изделий составляют детали типа валов. Как правило, эти де-

тали ответственного назначения, к качеству которых предъявляются высокие требования. В большинстве случаев такие валы работают в условиях действия больших знакопеременных нагрузок и испытывают значительные упругие деформации изгиба и кручения. При больших скоростях вращения и малой жесткости валов даже весьма незначительная величина неточности формы вызывает появление дисбаланса, вибраций и увеличения динамических нагрузок на опоры, что существенно ускоряет процессы разрушения детали и машины в целом.

Основной операцией формирующей внешний контур детали типа тел вращения, в большинстве случаев, является токарная. От точности выполнения этой операции в значительной степени зависит точность и трудоемкость последующей обработки. Выбор структуры и условий выполнения переходов токарной операции зависит от типа обрабатываемых деталей.

Обработка резанием мало жестких деталей характеризуется трудностями обеспечения заданных размеров и формы деталей. Основной причиной технологических трудностей является высокая податливость заготовки, которая вызывает упругие деформации. Отрицательное действие данного фактора приводит к снижению точностных показателей технологической системы. Кроме этого отсутствуют нормативные справочные данные для назначения режимов обработки таких деталей. Выбор режимов и технологической оснастки для обработки не жестких деталей на машиностроительных предприятиях в настоящее время выполняется инженером-технологом, а в ряде мелких предприятий самим рабочим. Выбор осуществляется на основе личного опыта или экспериментальным подбором. В следствии этого значительно увеличивается время на технологическую подготовку производства, основными этапами которой являются выбор режимов резания и выбор или разработка технологической оснастки. Кроме того результаты технологического процесса являются субъективными.

В этих условиях использование средств вычислительной техники для решения задач основных этапов технологической подготовки производства, является единственным приемлемым путем повышения её качества и оперативности. Анализ современных систем автоматизированного проектирования показал, что известные системы для разработки технологических процессов изготовления не жестких деталей не применимы, так как в них не учитываются специфика обработки не жестких деталей. В системах отсутствуют базы данных режимов обработки, режущих инструментов, вспомогательных инструментов, приспособлений, программ расчета показателей точности.

Поэтому разработка автоматизированного рабочего места технолога для проектирования технологических процессов изготовления не жестких деталей является актуальной. Решению этой задачи способствует разработанная методика проектирования технологических операций обработки не жестких деталей (рисунок 1).

Первый этап методики (блоки 1..9, 12, 13, 14) направлен на оптимизацию режимов резания по критерию минимальной себестоимости обработки с использованием «стандартной» технологической оснастки. Для станков со ступенчатым приводом оптимизация реализуется методом перебора значений подач  $S$ , и частот вращений шпинделя  $n$ , для станков с бесступенчатым приводом методом Монте-Карло.

Себестоимость обработки рассчитывается по формуле (1).

$$C = x \cdot \left( T_{пр} + \frac{L_{р.х.}}{S_i \cdot n_i} \right) + \frac{L_{р.х.}}{S_i \cdot n_i} \cdot \left[ \frac{1000 \cdot C_v \cdot K_v}{\pi \cdot t^x \cdot S_i^y \cdot D \cdot n_i} \right]^m \cdot \left( x \cdot T_{см.ин.} + \frac{C_{ин.}}{k+1} \right), \quad (1)$$

где  $x$  - стоимость станкоминуты;  $T_{пр}$  - суммарное время простоя оборудования, приходящееся на одну деталь;  $L_{р.х.}$  - длина рабочего хода;  $C_v$ ,  $K_v$ ,  $x$ ,  $y$ ,  $m$  - эмпирические коэффициенты;  $D$  - диаметр обрабатываемой поверхности или инструмента;  $T_{см.ин.}$  - время смены инструмента;  $C_{ин.}$  - стоимость инструмента;  $k$  - число переточек.

Ограничениями в модели оптимизации режимов обработки служат:

1. Шероховатость обработанной поверхности.
2. Внутренние напряжения
3. Производительность обработки
4. Показатели точности обрабатываемой поверхности

В случае невозможности обработать деталь на всех допустимых кинематикой станка режимах резания с применением «стандартной» технологической оснастки необходимо в соответствии с предлагаемой методикой проектирования технологических операций обработки не жестких деталей (рисунок 1) выполнить второй этап методики. Цель второго этапа выбрать (спроектировать) прогрессивную технологическую оснастку и оптимизировать режимы обработки для этой оснастки (блоки 4.. 10, 12, 13, 14).

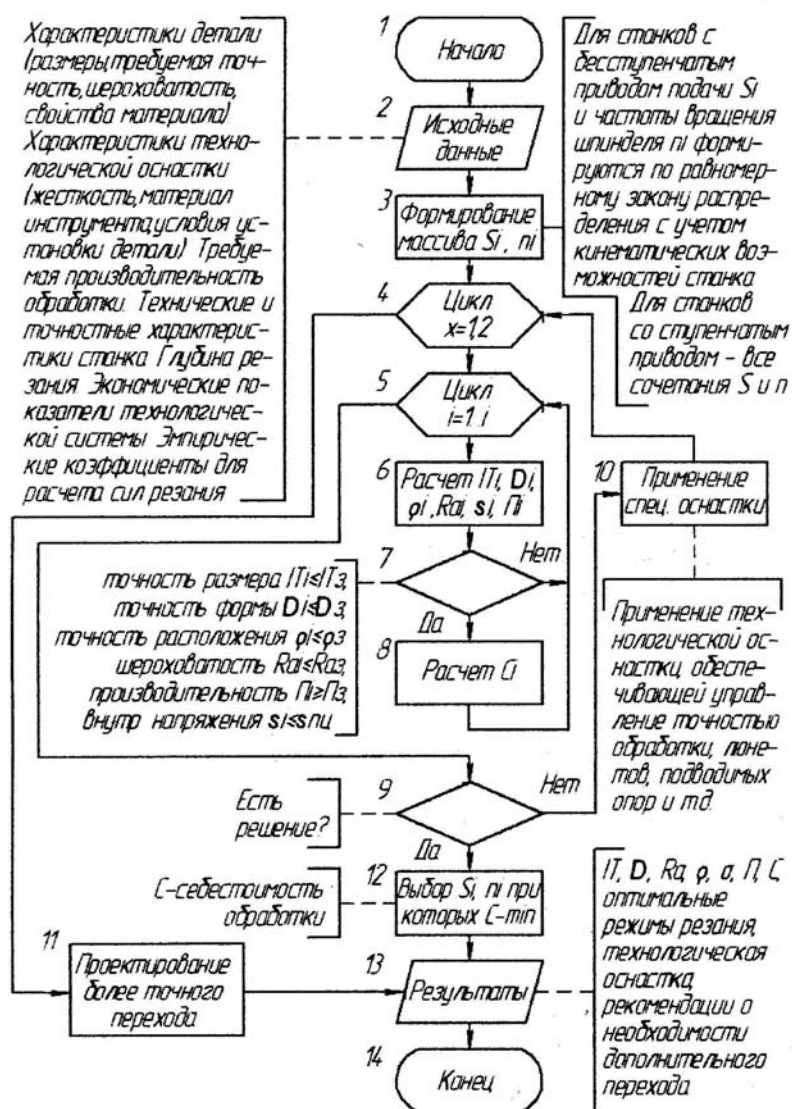


Рисунок 1 – Алгоритм методики проектирования технологических операций обработки нежестких деталей

Предлагаемая методика позволяет оптимизировать режимы резания, рассчитать показатели точности, себестоимость, производительность обработки, шероховатость, производить выбор рациональной технологической оснастки.

## ПОИСКОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА

Шишкин И.В. - магистрант, Святкина А.В. - магистрант,

Татаркин Е.Ю. - д.т.н., профессор

Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Проектирование технологических систем (режущий инструмент, оборудование, приспособления и др.), обеспечивающих заданные показатели качества, является одной из наиболее важных задач машиностроения. При этом практически каждая задача, поставленная перед проектировщиком, по-своему специфична, и требует поиска оригинального решения. Для решения таких задач весьма результативным может быть использование методов поиска новых решений, к которым относятся: морфологический анализ и синтез решений, метод кон-

трольных вопросов, эвристический метод, мозговая атака и др. Использование данных методов может не привести к искомому решению проблемы, но может “подсказать” его.

Рассмотрим поисковое проектирование абразивного инструмента на примере метода морфологического анализа. Данный метод основан на комбинаторике. Он заключается в том, что в технической системе выделяют основные функциональные и конструктивные признаки, а затем для каждого признака выбирают различные варианты его реализации. Далее строится морфологическая таблица, строками которой являются признаки, а столбцами - варианты их реализации (построение таблицы, как правило, производится на основе конкретных прототипов). Число строк зависит от требуемой степени детализации. Наибольший эффект дает использование таблиц, ориентированных на метод обработки.

Например, необходимо спроектировать инструмент для прерывистого шлифования. В качестве основных признаков выделим следующие: вид абразивного инструмента, способ получения прерывистости шлифования, количество абразивных инструментов, взаимное расположение элементов изделия, форма связи абразивного инструмента со шпинделем. Затем производим поиск существующих инструментов для прерывистого шлифования и заносим их характеристики в морфологическую таблицу.

Общее число вариантов решений, полученных в результате построения таблицы, рассчитывается по следующей формуле:

$$N_p = n_1 * n_2 * n_3 * \dots * n_m,$$

где  $n_m$  - число вариантов реализации признака в каждой из строк;  
 $m$  - число столбцов.

	Существующие инструменты для прерывистого шлифования				
	1	2	3	4	5
Вид абразивного инструмента	Составной из сегментов	Металлический корпус, абразивная режущая часть	2 цельных абразивных инструмента (1 с разрезами)	Цельные абразивные инструменты	Стандартные абразивные бруски
Способ получения прерывистости шлифования	Прерывистая конструкция абразивного элемента	-	Прерывистость получается в результате установки инструмента под углом	-	-
Количество абразивных инструментов	2	-	3	-	1
Взаимное расположение элементов изделия	-	По периферии корпуса, соосно	Под углом к оси вращения	Два инструмента соосно, один под углом	На торце корпуса
Форма связи абразивного инструмента со шпинделем	Нежесткая	-	Два жестко закреплены, один - не жестко	Жестко закреплены	Жесткая с регулировкой

Для заполнения морфологических таблиц помимо прототипов необходимо использовать результаты патентного поиска, проводимые с учетом международной классификации изобретений для определенного типа обработки, варианты реализации аналогичных функций в

технических системах более высокого класса и другая информация. Обязательным условием при расширении морфологических таблиц является учет прогнозов, основных законов и закономерностей развития технических систем с абразивным инструментом.

После заполнения морфологической таблицы производится синтез, в ходе которого анализируются все решения, отвечающие целям проектирования. Для приемлемых решений проводится математическое моделирование, составление эскизов, конструкторская проработка и экспериментальная проверка.

Таким образом, можно получить уникальное решение, наиболее полно удовлетворяющее всем требованиям, которое было бы весьма трудно получить другими методами.

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ПРИНУДИТЕЛЬНЫХ ОТНОШЕНИЙ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ

Щанина А.Ф. – студент, Фёдоров В.А. – к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

При всём существующем арсенале методологии изобретательской деятельности, метод принудительных отношений и сегодня является одним из наиболее простых в применении способов расширения области поиска решений при техническом творчестве. Сущность метода состоит в расчленении изучаемого объекта на элементы с последующим сопоставлением элементов и фиксацией возникающих мысленных ассоциаций. В заключение работы с методом выбираются, классифицируются и оцениваются приемлемые решения. Качество получаемых решений зависит, прежде всего, от творческой подготовленности проектировщика, оригинальности его мышления, умения использовать аналогии и ассоциации. Применению метода предшествуют тщательный анализ и формулировка задачи поиска решения. Завершают работу отбор рациональных идей и их конструкторская проработка.

Данный метод был применен при совершенствовании процесса сверления топливоподводящих отверстий в корпусах форсунок дизельных двигателей на агрегатных станках. При этом учитывалось, что если сверление отверстий диаметром 2,0...2,2 мм в деталях из сталей производится спиральными свёрлами на глубину 60...70 мм, то высока вероятность забивания стружечных канавок стружкой. Это явление может привести к заклиниванию и поломке сверла, ухудшает шероховатость и точность формы обрабатываемого отверстия, нарушает равномерный отвод тепла из зоны резания. Сверление с частыми периодическими выводами сверла приводит к значительному увеличению времени обработки. Указанные недостатки также затрудняют обработку отверстий в автоматическом режиме.

Анализ процесса удаления стружки при сверлении спиральными свёрлами показал, что забивание стружечной канавки стружкой происходит из-за нарушения процесса её перемещения к хвостовику под действием сил резания, гравитации, трения о поверхности канавки и обрабатываемого отверстия. В процессе поиска решений были выделены следующие элементы спирального сверла: канавка, спираль, спиральная канавка, режущая кромка, ленточка, шейка, хвостовик, спинка зуба, передняя поверхность, задняя поверхность, перемычка. Сочетания элементов дали ряд перспективных идей. По мнению авторов наиболее перспективным для решения проблемы удаления стружки в данных условиях стало решение, развитое из комбинации элементов «передняя поверхность - спиральная канавка». Возникла идея повысить эффективность удаления стружки применением сверла со спиральной канавкой с увеличивающимся к хвостовику шагом. Предлагаемое сверло позволяет выводить стружку из зоны резания принудительно с ускорением, исключая негативные явления торможения и забивания стружечной канавки, присущие удалению стружки с самоподачей, осуществляемой хотя и более технологичным, но менее эффективным сверлом с равномерным шагом канавки. Сокращается штучное время на операцию вследствие отсутствия необходимости частого вывода сверла. Увеличивается отвод тепла из зоны резания, снижается вероятность поломки инструмента. Перечисленные факторы позволяют рекомендовать применение предлагаемого

устройства в автоматизированном производстве. Проведённый патентный поиск не позволил выявить технических решений подобных предлагаемому, что позволяет сделать вывод о патентоспособности разработанной конструкции.

## ГЛУБОКОЕ СВЕРЛЕНИЕ – ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

Маркова Н.С. – студент, Дятчин Н.И. – к.т.н., доцент

Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Во всех областях машино- и приборостроения весьма часто применяются детали, имеющие глубокие отверстия. Массовыми потребителями деталей с глубокими отверстиями являются общее и специальное машиностроение, судостроение, авиастроение, нефтяное и химическое машиностроение, приборостроение и др. В ряде случаев глубокое сверление, особенно скоростное, превосходит по производительности и качеству выполнения операций все другие существующие технологические процессы. Современный процесс глубокого сверления в общих чертах характеризуется как непрерывный процесс образования в сплошном материале заготовки отверстий с относительной длиной более 3–5 диаметров сверления с применением специальных инструментов, оснастки и оборудования, обеспечивающих принудительный отвод стружки из зоны резания. Чаще всего образование глубоких отверстий в сплошном материале осуществляется инструментами одностороннего резания, к которым относятся ружейные и эжекторные сверла.

Важным фактором, от которого зависит непрерывность протекания процесса сверления, является отвод образующейся стружки. На практике глубокие отверстия сверлятся обычно непрерывно с принудительным либо наружным, либо внутренним отводом стружки. Принудительный отвод стружки осуществляется, как правило, жидкостью, подводимой в зону резания под давлением. Весьма редко вместо жидкости применяют сжатый воздух. Для создания циркуляции жидкости применяется специальная оснастка и оборудование. На рис. 1 показаны упрощенные схемы обоих методов глубокого сверления.

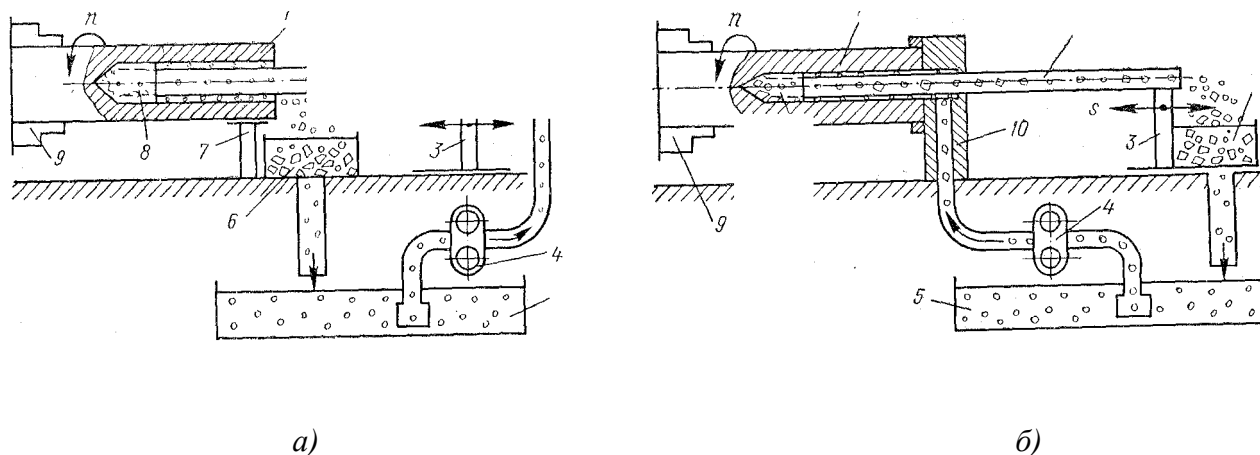


Рисунок 1 – Схемы отвода стружки из зоны резания при глубоком сверлении: *a* – наружный отвод стружки; *б* – внутренний отвод стружки:

1 – заготовка; 2 – стембель; 3 – стемблевой суппорт; 4 – насос; 5 – резервуар для охлаждающей жидкости; 6 – стружкоприемник; 7 – люнет; 8 – сверло; 9 – патрон; 10 – маслоприемник

При наружном отводе стружки (рис. 1, *a*) жидкость поступает от насоса через внутреннюю полость стембля и сверла в зону резания и вместе со стружкой отводится через зазоры между сверлом со стемблем и поверхностью образуемого глубокого отверстия в стружкоприемник. При внутреннем отводе стружки (рис. 1, *б*) жидкость направляется насосом в спе-

циальное устройство – маслоприемник. Из маслоприемника жидкость поступает в зону резания через зазоры между наружной поверхностью стебля со сверлом и образующейся поверхностью глубокого отверстия. Затем стружка вместе с жидкостью вымывается в стружкоприемник через внутреннюю полость сверла и стебля.

Оба эти способа имеют свои положительные и отрицательные стороны. Наиболее распространенным является внутренний отвод стружки, несмотря на то, что осуществление его довольно сложно – требуется маслоприемник. Этот способ обеспечивает высокое качество качества просверленных отверстий, так как отходящая стружка не царапает поверхности отверстия и не заклинивается между направляющими инструмента и заготовкой. Кроме того, эти сверла имеют несколько меньший износ направляющих. Поэтому процесс сверления глубоких отверстий средних диаметров при внутреннем отводе стружки протекает более надежно. Сверла для отверстий диаметром менее 35 мм, как правило, проектируются с наружным отводом стружки, так как небольшие размеры стебля не обеспечивают надежного внутреннего стружкоотвода.

Специфичность глубокого сверления, которое осуществляется инструментами одностороннего резания, заключается в том, что инструмент должен прокладывать себе путь в сплошном материале, не имея заранее подготовленной опоры и жесткого направления. В этом случае инструмент может иметь опору только на поверхность отверстия, которое оно само образует. При этом для обеспечения надежного базирования и прямолинейного направления оси обрабатываемого отверстия равнодействующая поперечной силы, прижимающая направляющие инструмента к стенкам отверстия, не должна выходить за пределы сектора расположения базовых направляющих. В противном случае может иметь место отрыв одной из направляющих от своей базы, нарушение равновесия инструмента и определенности базирования, что ведет к снижению точности и качества обработки. Типичным для глубокого сверления также является невозможность непосредственного наблюдения за ходом процесса и трудность выполнения данной операции на универсальном оборудовании без его основательной подготовки.

Сплошное сверление глубоких отверстий инструментами одностороннего резания может осуществляться с использованием трех видов распределения поперечного сечения стружки между режущими кромками: 1 – ширины реза, 2 – подачи, 3 – комбинированным способом. При сверлении по методу деления ширины реза имеют в виду число автономных режущих кромок (число зубьев инструмента), необходимых для перекрытия всей ширины реза. Этот метод следует считать прогрессивным направлением в конструировании сверл, так как перекрытие одной режущей кромкой всей ширины резания, особенно при сплошном сверлении отверстий диаметром выше 40 мм, затруднительно. Режущие кромки обычно состоят из твердосплавных пластин, ширина которых ограничена. Несмотря на то, что стандартом предусматриваются тонкие пластины большой ширины в производственных условиях они не всегда имеются. Кроме того, применение широких пластин оказывается в большинстве случаев экономически нецелесообразным, так как любое незначительное выкрашивание твердого сплава или повышенный износ пластины на небольшом участке режущей кромки влечет значительные потери твердого сплава. При делении же ширины реза несколькими резцами поврежденный участок сменной режущей кромки можно легко восстановить заменой вышедшего из строя резца. К достоинствам метода деления ширины реза следует отнести также легкость получения конструкций инструментов, имеющих постоянное (определенное) базирование. При методе деления подачи имеют в виду число режущих кромок (зубьев), участвующих в делении подачи сверла – осевого перемещения сверла за один оборот заготовки.

Станки для глубокого сверления и особенно станки, предназначенные для скоростной обработки, должны обеспечить следующие требования: 1 – удобную и быструю установку и снятие обрабатываемых заготовок; 2 – требуемые режимы обработки, особенно обеспечение бесступенчатого регулирования величины подачи на ходу; 3 – непрерывный отвод образующейся стружки (пульпы, состоящей из жидкости и стружки).

Самая большая мощность на резание при сверлении, стружкоотвод и подачу инструмента требуется для станков двустороннего сверления. Самым экономичным станком глубокого сверления с точки зрения потребления энергии является станок без вращения заготовки. Менее экономичными в сравнении со станками без вращения заготовки по потреблению энергии являются станки токарного типа. Вертлюжные станки по потреблению энергии, если они работают со стемлевыми бабками, занимают промежуточное место между станками токарного типа и станками для сверления невращающихся заготовок. Этот вывод является несколько неожиданным, так как при внедрении скоростного сверления станки вертлюжного типа считались устаревшими. Однако после введения почти на всех станках для обработки средних и крупных деталей стемлевых бабок эти станки продолжают работу, подтверждая справедливость полученных выше результатов.

Станки глубокого сверления токарного типа из-за возможности осуществления на них больших угловых скоростей вращения заготовок, несмотря на то, что занимают большую площадь и не экономичны в отношении потребления энергии, получили наибольшее распространение при обработке глубоких отверстий. Поэтому все мелкие заготовки с формой тел вращения и обработанные поверху, могут проходить сверление на станках токарного типа. Исключением являются лишь заготовки, требующие одновременного сверления двусторонних глубоких отверстий, так как на станках токарного типа нельзя одновременно осуществлять двустороннее сверление. Учитывая, что мелкие отверстия обычно сверлят ружейными сверлами, недостаточно надежно работающими при их быстром вращении, шпиндель вращения заготовки должен обеспечивать вращение с требуемой скоростью резания. В ряде случаев в качестве привода могут быть использованы высокочастотные электродвигатели и ускорительные передачи гибкой связью. Средние и крупные чисто обработанные заготовки без большого дисбаланса также часто обрабатывают на станках токарного типа. Однако при длинных заготовках такие станки должны быть оборудованы люнетами закрытого типа. Скорость вращения заготовок, превышающую 600 об/мин, следует по возможности избегать, так как это опасно для операторов. В таких случаях, если это только можно, следует применять дополнительное вращение инструмента. Станки токарного типа обеспечивают высокое качество обработки заготовок. Продукция, получаемая с этих станков, не имеет замечаний относительно чистоты обработки и формы просверленных отверстий.

## МЕХАНИЗМ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛУЧА ЛАЗЕРА НА МАТЕРИАЛ В ПРОЦЕССАХ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Бородулин А.В. – студент, Дятчин Н.И. – к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Вопрос взаимодействия светового луча лазера с материалом является одним из основных технологических вопросов. Для управления технологическим процессом в целом, т.е. выбором оптимальных режимов обработки для получения заданной точности и качества обрабатываемой поверхности, необходимо знать механизм обработки, закономерности, которым подчиняются протекающие процессы. В отличие от всех ранее известных методов обработки, световой является весьма специфическим и сложным.

Особенность этого метода заключается в том, что: во-первых, процесс совершается в течение тысячных долей секунды ( $1 \div 5$  мсек.); во-вторых, в основе механизма обработки «резанием» лежат сложные термодинамические процессы, которые сопровождаются сверхзвуковым истечением газов, гигантскими давлениями и сверхвысокими температурами, т.е. теми процессами, которые в настоящее время еще недостаточно изучены; в-третьих, процесс обработки протекает в глубине материала и поэтому представляет трудность в изучении явлений, происходящих в его толще.

В общем случае, если исходить из электромагнитного представления света и определения вещества как системы электрических зарядов, процесс взаимодействия света и вещества



можно рассматривать как взаимодействие электромагнитного поля волны с атомами или молекулами вещества. При взаимодействии светового луча с металлами электромагнитная волна воздействует на электроны, которые в данном случае, рассматриваются как свободные. Свободные электроны характеризуются слабой связью с кристаллической решёткой и под воздействием световой волны совершают вынужденные колебания. Эти колебания обуславливают высокую отражательную способность металлов. Однако часть энергии электромагнитной волны всё же проникает в глубь металла, испытывая в нём сильное поглощение.

Свободные электроны металла под действием данной части энергии приходят во взаимодействие с ионами и атомами кристаллической решётки, вследствие этого часть энергии электромагнитной волны превращается в тепло. Если световой поток обладает высокой плотностью, которая распространяется на очень малую площадь поверхности металла, то тепло, выделяющееся в данном месте под действием светового пучка, оказывается достаточным для расплавления и испарения металла в зоне взаимодействия. Процесс взаимодействия света с металлом в основном происходит на поверхности обрабатываемой заготовки. Затухание световой волны осуществляется в поверхностном слое материала определенной толщины, измеряемой ангстремами. При этом данное явление сопровождается выделением огромного количества энергии за короткий промежуток времени.

Если обрабатываемый материал обладает постоянными теплофизическими параметрами, а световой луч имеет постоянную плотность и длину волны, то согласно электромагнитной теории распространения света, суммарная энергия излучения квантового генератора на поверхности материала будет определяться по формуле:

$$E_0 = E_{OT} + E_{П} + E_{ПР},$$

где  $E_{OT}$  – энергия отражения от поверхности;

$E_{П}$  – энергия поглощения;

$E_{ПР}$  – энергия, проходящая через материал.

Слой материала для светового потока можно принять практически бесконечным, и поэтому составляющая  $E_{ПР} = 0$ . Составляющая  $E_{OT}$  при обычных условиях, когда поверхность материала шероховата или покрыта специальным светопоглощающим покрытием, также будет невелика. Поэтому для плотных потоков светового излучения можно принять:

$$E_C = E_{П}.$$

Если учесть, что площадь фокусного пятна в начальный момент весьма малая и определяется:  $S = \pi r^2$ , где  $r$  – радиус светового пятна.

Поскольку время жизни этого, пятна составляет 1÷5 мсек, то становится ясным, что под действием весьма значительной энергии  $10^7 \div 10^{14}$  Вт/см<sup>2</sup>, практически мгновенно начинается процесс испарения материалов. По вопросу механизма развития данного процесса в настоящее время существует две точки зрения. Одни исследователи полагают, что тепловой эффект, возникающий на поверхности детали вследствие торможения фотонов в верхнем тонком слое материала, вызывается наружным источником тепла, интенсивность которого постепенно распространяется в глубь материала в зависимости от длительности процесса облучения. По мнению других исследователей в толще материала возникает объемный источник тепла, приводящий в дальнейшем к взрыву и выбросу материала из зоны облучения с большой скоростью. Однако, как показали проведенные учеными под руководством В.М. Суминова экспериментальные исследования, данные явления можно считать частными случаями общего механизма обработки.

Характер протекания процесса обуславливается тремя основными факторами:

- а) положением фокусного расстояния линзы относительно наружной поверхности обрабатываемой заготовки;
- б) теплофизическими и оптическими характеристиками обрабатываемого материала;
- в) энергетическими параметрами светового луча.

Ниже рассмотрено влияние данных факторов на механизм обработки. Фокус фокусирующей линзы в процессе обработки может занимать относительно наружной поверхности заготовки одно из трех положений: 1 – над поверхностью (рис. 1 а), 2 – на поверхности (б), 3 – внутри материала (в). В зависимости от этого возможны три различных механизма обработки. Можно принять, что процесс взаимодействия светового луча с обрабатываемым материалом состоит из двух фаз: из квазистатической фазы, при которой происходит постепенный нагрев материала и изменение прочностной связи некоторого облученного материала с основной его массой, и динамической фазы, связанной с интенсивным удалением продуктов взаимодействия из зоны облучения под действием взрывных процессов.

При положении фокуса фокусирующей линзы на поверхности заготовки световой луч, воздействуя на материал в виде эффекта торможения фотонов, сконцентрированных на малой поверхности фокального пятна, вызывает квазистатическую фазу, при которой образуются изотермические поверхности, соответствующие температурам плавления  $T_{пл}$  и кипения  $T_{кип}$  материала. При увеличении плотности светового потока до  $10^9$  Вт/см<sup>2</sup> температура поверхности металла в зоне облучения быстро возрастает до температуры испарения  $T_{исп}$  за счет поглощения световой энергии. Поверхностный тонкий слой начинает испаряться, а температура нижележащего слоя в это время достигает температуры испарения.

Таким образом, механизм взаимодействия светового луча квантового генератора с обрабатываемым материалом при положении фокуса поверхности заготовки состоит в следующем. Световой луч воздействует на материал в виде эффекта торможения фотонов, сконцентрированных на малой площади фокального пятна. Это создает в слое металла, толщиной в несколько десятков долей микрона высокотемпературную зону облучения. Вначале развивается квазистатическая фаза, которая заканчивается переводом части материала в жидкую перегретую фазу. При этом механические связи перегретой части материала с остальной массой значительно ослабевают, и происходит интенсивный процесс испарения материала. Квазистатическая фаза, взаимодействуя, переходит в динамическую фазу. В этом случае происходит увеличение жидких и газообразных продуктов из зоны облучения, возникающего за счет газодинамических процессов при взрыве перегретого жидкого материала. Ударные волны способствуют упрочнению и формированию внутренней поверхности обрабатываемой полости.

При смещении фокуса луча в толщу обрабатываемого материала механизм взаимодействия света с материалом следующий. В начальный момент возникает квазистатическая фаза, длительность которой возрастает в зависимости от величины смещения фокуса. Ввиду того, что точка светового луча с максимальной энергией при данной схеме обработки находится в толще материала, внутри его, на некоторой глубине от поверхности, возникает объемный источник тепла в виде расплавленного металла, который увеличивается по мере возрастания светового потока.

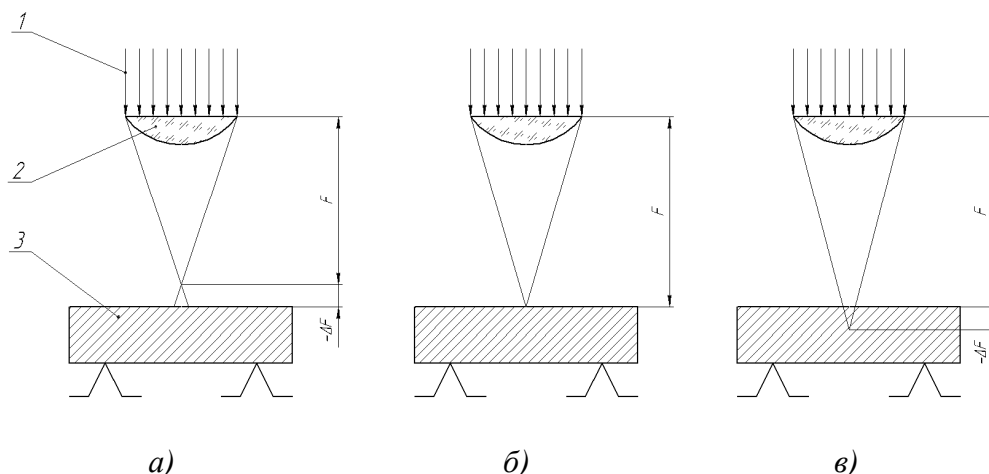


Рисунок 1 – Положение фокуса фокусирующей линзы:

1 – лазерный луч; 2 – фокусирующая линза; 3 – обрабатываемый материал

Ввиду того, что точка светового луча с максимальной энергией при данной схеме обработки находится в толще материала, внутри его, на некоторой глубине от поверхности, возникает объёмный источник тепла в виде расплавленного металла, который увеличивается по мере возрастания светового потока. Рост данного ядра заканчивается образованием канала проводимости, через который расплавленный материал под действием сильного термодинамического взрыва выбрасывается наружу. В дальнейшем процессе вновь переходит в квазистатическую фазу, сопровождаемую некоторым оплавлением стенок образовавшегося канала.

Если световой поток недостаточный, то внутри толщи металла сила термодинамического взрыва будет невелика. Поэтому на поверхности заготовки образуется вспучивание металла в виде колокола, которое наблюдалось при проведении экспериментов. При расположении фокального пятна фокусирующей линзы над поверхностью материала механизм взаимодействия света с материалом имеет свои особенности и протекает следующим образом. В начальной стадии излучения квантового генератора, в фокальной плоскости линзы возникает высокотемпературная плазма, которая с большой скоростью движется к поверхности заготовки и обрушивается на нее.

При высоких плотностях энергии наблюдается пробой газа. За счет этого поглощается значительная часть энергии излучения. Однако, оставшаяся часть энергии взаимодействует с верхними слоями заготовки, вследствие чего возникает квазистатическая фаза, которая при определенных условиях переходит в динамическую. Если величина смещения фокуса невелика  $0,5 \div 1,5$  мм, то плазма развивается раньше, а если величина смещения больше 1,5 мм, то большую часть энергии поглощает пробой газа, это справедливо для лазерных установок с энергией пучка порядка нескольких джоулей.

#### Литература

1. Коваленко В.С., Романенко В.В. «Малоотходные процессы резки лучом лазера». – К.: Техника, 1987.
2. Гончаров В.Д. «Светолучевые методы обработки и контроля деталей машин и приборов». Конспект лекций. / Алт. гос. техн. ун-т. им. И.И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во Алт ГТУ, 1974.

#### ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ «ТВЕРДЫМ РЕЗАНИЕМ»

Новомирский А.Ю. – студент, Дятчин Н.И. – к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Под «твердым резанием» в данном случае подразумевается обработка резанием (точением и фрезерованием), взамен абразивной обработки (шлифования), закаленных сталей и других твердых материалов, не поддающихся традиционным методам лезвийной обработки. Такая замена обеспечивает уменьшение трудоемкости обработки и повышение экономичности процесса резания при той же точности. При этом достигается более высокую гибкость и универсальность процесса, особенно при обработке сложнопрофильных деталей, отпадает необходимость в применении СОЖ, удешевляется процесс утилизация стружки – в результате достигается экономия на 30–50% и более по сравнению со шлифованием.

Основными видами инструментальных материалов для «твердого резания» является режущая керамика и кубический нитрид бора (КНБ). Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки. Керамика существенно дешевле, но плохо воспринимает ударные нагрузки. Кубический нитрид бора менее восприимчив к ударным нагрузкам, но является более дорогой. Физика процесса «твердого резания» заключается в том, что благодаря специально подобранной геометрии инструмента и режиму обработки в зоне контакта с режущей кром-

кой материал нагревается практически до состояния расплава (до  $1500^{\circ}\text{C}$ ), что приводит к отпуску материала до твердости около 25 HRC. Деталь же в своей массе практически не нагревается, поэтому после отделения стружки происходит быстрое охлаждение материала в зоне резания, в результате чего твердость детали уменьшается не более чем на 2 ед. от исходной, а полученная стружка имеет твердость около 45 ед.

При реализации на токарном станке этот метод носит название «твердого точения». В зависимости от требований процесса различают черновое, точное и особо точное (прецизионное) «твердое точение». Черновое точение реализуется при глубинах обработки от 0,5 до 3 мм на скоростях резания 50–150 м/мин и подачах 0,1–0,3 мм/об и требует от станка максимальной жесткости и мощности привода, так как усилия резания достаточно велики. При подобной обработке шероховатость поверхности отходит на задний план. При точном точении глубина резания не превышает 0,1–0,5 мм при скорости резания 100–200 м/мин и подаче 0,05–0,15 мм/об. Точность обработки соответствует 5–6 качеству (статистически гарантированный разброс по диаметру не превышает 10 мкм) при шероховатости поверхности после обработки Rz 2,4–4. Прецизионное точение обеспечивает точность обработки в пределах 3–4 качества при шероховатости до Rz 1 мкм. Глубина резания находится в пределах 0,02–0,3 мм при скорости резания 150–220 м/мин и подаче 0,01–0,1 мм/об. Так на станке МК6801 проводилось твердое точение шарикоподшипниковых колец, применяемых в железнодорожных вагонах из стали ШХ15СГ, твердостью 61 HRC, резец с быстросменной керамической пластиной K4 4400CNGA 1240FW и заточкой режущей грани типа WIPER с двойными радиусами. Шероховатость обработанных поверхностей колебалась от  $Ra = 0,12$  мкм (10 класс) до  $Ra = 0,3$  мкм (9 класс).

Исходя из указанных характеристик процесса резания, токарный станок для точной окончательной твердой обработки должен, как минимум, соответствовать следующим критериям: высокая геометрическая точность, статическая и динамическая жесткость, температурная стабильность, обеспечение свободного схода стружки. Выполнение требования точности необходимо, так как при точении любая неточность направляющих, при отсутствии необходимых компенсаций, отражается на точности обработанных деталей. Требования жесткости связаны с тем, что усилия при «твердом резании» существенно выше, чем при обычном и при других методах финишной обработки, например, шлифовании. А возникающие усилия приводят к взаимному смещению заготовки и инструмента и, в конечном итоге, к ошибкам формы и размеров. Отсутствие достаточной динамической жесткости приводит к возникновению вибраций, необходимости понижения режимов обработки и падению производительности. Для уменьшения влияния температурных деформаций необходимо точно знать распределение тепловых потоков и правильно выбирать материалы для отдельных элементов станка, а стружку, имеющую достаточно высокую температуру, необходимо как можно быстрее выводить из зоны резания, пока она успела передать тепло элементам конструкции станка.

Проведенные исследования, касающиеся конструкции станков для «твердого резания», показали, что наибольшее влияние на процесс резания оказывает статическая и динамическая жесткость, а на стойкость инструментального материала существенно влияет виброустойчивость и радиальное биение подшипников шпинделя станка. Наилучшие показатели достигались при использовании высокоточных подшипников качения с радиальным биением менее 1 мкм. Также установлено, что большое влияние на процесс «твердого точения» валов оказывает соосность положения и жесткость задней бабки, а положительных изменений в температурном балансе станка можно добиться за счет принудительного охлаждения шпинделя. Изменение конструкций станков в соответствии с приведенными рекомендациями позволяет добиться улучшения их эксплуатационных характеристик и с успехом применять для «твердого резания». Эти изменения касаются компоновки станка, станины, направляющих, суппорта, шпинделя и его подшипников, фундамента, т.е. практически всех основных элементов конструкции станка. В результате обеспечивается заданная шероховатость обра-

ботанной поверхности, геометрическая точность детали, гарантированный износ и достаточная стойкость инструментального материала и стабильность процесса резания в целом.

Один из мировых лидеров в производстве станков для высокоточного «твердого точения» фирма Hemburg BV отмечает, что важнейшими параметрами для твердого точения являются точность, стабильность и простота воспроизводства. Для достижения этих показателей фирма использует фундамент из натурального (природного) гранита, гидростатические направляющие и подшипники шпинделя, линейные системы измерения, имеющие точность 0.01 мкм, наклонную или порталную компоновку, а также изоляцию станка от окружающей среды специальными виброгасящими демпферами. Фундамент из натурального гранита не имеет внутренних напряжений, обладает превосходными свойствами демпфирования и низким коэффициентом теплового расширения, а, следовательно, высокой термической устойчивостью. Кроме того, натуральный гранит практически не имеет усадки, не подвержен коррозии, свободен от магнитных свойств, и обрабатывается с высокой точностью, которая необходима для финишного «твердого точения». Все эти свойства делают натуральный гранит идеальным материалом при создании станков для указанного вида обработки. В станках фирмы Monforts GmbH & Co. KG сварная станина с наклонными направляющими размещена на бетонном основании. Такая конструкция также обеспечивает максимальное демпфирование вибраций и необходимую жесткость. Станок МК6801ФЗ завода «Красный пролетарий» имеет высокопрочную станину, выполненную литьем из минеральной крошки, которая обеспечивает высокие демпфирующие свойства, превышающие свойства станины из чугуна в 4 раза. Получены неплохие результаты при «твердом точении» и на станке с бетонной станиной. В малогабаритном станке 160 НТ («Стерлитамак») крупные литые корпусные детали для обеспечения виброустойчивости заполнены синтергранитом.

Необходимо отметить, что в России на данный момент не существует каких-либо ГОСТов или ТУ, описывающих требования к станкам, касающихся их жесткости, виброустойчивости, температурной стабильности и прочих характеристик станков, влияющих на процесс «твердого резания». Единственный государственный стандарт, касающийся жесткости станков (ГОСТ 7035-75) сейчас отменен, но и в нем не было никаких особых требований к станкам для подобного вида обработки. Нет стандартов с регламентированными требованиями для подобных видов обработки и за рубежом.

Подшипники шпинделя и направляющие – наиболее важные элементы в токарном станке, в наибольшей степени определяющие долговечность станка и точность обрабатываемой детали. Гидростатическая система обладает рядом преимуществ, таких как: хорошая способность к демпфированию, поскольку подшипники и направляющие разделены слоем жидкости (масла); высокая тепловая стабильность, которая достигается непрерывным потоком жидкости и её охлаждением; превосходная динамическая точность благодаря «усредняющему действию» в гидростатических подшипниках; нулевой износ из-за отсутствия контакта металл-металл; отсутствие эффекта движения рывками (залипания и проскальзывания stick-slip) из-за незначительной величины вязкого трения; нет необходимости в смазывании благодаря непрерывному потоку гидростатической жидкости; обеспечение дискретности задания перемещения 0.01 мкм благодаря близкому к нулевому трению. При расчете шпинделей используются специальные компьютерные программы, которые выполняют оптимизацию параметров гидростатических подшипников шпинделя для достижения наибольшей скорости, наибольшей статической и динамической жесткости и наименьшего значения вязкого трения.

Режущий инструмент является решающим фактором в деле достижения высокоэффективной и экономичной обработки «твердым резанием». Основным материалом для режущего инструмента сегодня, и в обозримом будущем является кубический нитрид бора КНБ (Cubic Boron nitrid – CBN). Этот материал обладает всем необходимым комплексом свойств, предъявляемым к режущему инструменту. Твердость КНБ незначительно уступает алмазу, но имеет большее преимущество по температуре фазового перехода: алмаз – 700–900<sup>0</sup>С, КНБ – 1300–1450<sup>0</sup>С. Кроме того, КНБ в отличие от алмаза, химически инертен. Особенно сильно

химическая стойкость проявляется по отношению к черным металлам. Из-за этого не наблюдается процесс диффузии и окисления, вызывающие появление износа кромок при обработке. При обработке черных металлов скорости резания должны выбираться таким образом, чтобы стружка получала легкое красное каление, что является свидетельством правильно выбранных условий обработки. Обработка осуществляется всухую и лишь при возникновении проблем сохранения размеров (исключения теплового расширения) и обработки особо вязких сталей и сплавов могут быть применены охлаждающие средства – масла, вода или эмульсия. Пластины КНБ подвержены такому же износу (по форме) как и все твердосплавные пластины. Зазубрины возникают вследствие образования металлического грата на главной режущей кромке, избежать которого можно применением высоких скоростей резания с высокими температурами и пониженных подач. В этом случае наблюдается уменьшение износа и увеличение срока службы инструмента. Поэтому скорости резания не должны быть слишком низкими. Получаемое качество поверхности в значительной степени зависит от вида обрабатываемого материала, в большинстве случаев, достигает качества шлифовальных поверхностей, что позволяет не применять дополнительных процессов обработки. Для уменьшения времени обработки на конечных операциях, например при хонинговании, следует уменьшить припуски на обработку и оперировать с минимальными допусками.

Во «ВНИИАЛМАЗ» разработана технология получения двухслойных пластин на основе кубического нитрида бора, обеспечивающая высокую твердость режущего слоя, термостойкость и стабильность качества. Они рекомендуются для высокопроизводительного точения (в том числе и с ударом) закаленных сталей, серого, высокопрочного и отбеленного чугуна, для обработки стального и чугунного литья по литейной корке и других материалов с высокой твердостью, а также фрезерования чугунов. Достоинством производимых двухслойных пластин из кубического нитрида бора, является их высокая износостойкость, не уступающая зарубежным аналогам, и большой размер пластин (15 мм), позволяющий вести скоростную обработку (до 600 м/мин) с глубиной резания, достигающей 6 мм на сторону.

## ОСОБЕННОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ

Бобров А.В. - студент, Марков А.М. - д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

В настоящее время стеклопластик, являясь одним из перспективных материалов, широко применяется для изготовления изделий, к которым предъявляются требования высокой прочности и размерной точности. Стеклопластики на основе стеклянного волокна характеризуются сочетанием высокой прочности, сравнительно низкой плотности и теплопроводности, обладают высокими электроизоляционными свойствами, радиопрозрачностью и коррозионной стойкостью [1].

Обработка стеклопластика имеет ряд особенностей, в отличие от сверления металлов:

1. Низкая теплопроводность стеклопластика. Низкая теплопроводность стеклопластика (в несколько сотен раз меньше, чем у металлов) существенно влияет на соотношение составляющих общего теплового баланса, лишь 10-15% теплоты, образующейся при резании, поглощается изделием и уносится стружкой. Основная часть теплоты воспринимается инструментом и способствует интенсивности износа последнего. Это обуславливает слабый отвод теплоты со стружкой и в обрабатываемое изделие, поэтому при обработке стеклопластика основная доля теплоты отводится через режущий инструмент [4].

2. Высокие упругие свойства стеклопластика. Стеклопластик обладает высокими упругими свойствами, что определяет особенности процесса резания. В первую очередь речь идет о больших фактических площадках контакта на задних поверхностях инструмента. Из-за высоких упругих характеристик обрабатываемого материала происходит упругое восстановление слоя обрабатываемого материала, лежащего над поверхностью резания. Это приводит к увеличенным площадкам контакта, и, как следствие этого, к повышенным значениям сил резания на

задней поверхности. Если при обработке металлов силы на задней поверхности малы и в практических расчетах их не учитывают, то при обработке стеклопластика силы на задней поверхности превосходят порой силы, действующие на переднюю поверхность [2]. Упругое восстановление обработанной поверхности следует учитывать и при оценке точности обработки. Силы резания при обработке стеклопластика в 10—20 раз ниже, чем при аналогичной обработке металлов, а упругие характеристики выше, поэтому точность их обработки в меньшей мере определяется упругими деформациями системы станок — приспособление — инструмент [4].

3. Низкая теплостойкость стеклопластика. Существенной особенностью стеклопластика является их низкая теплостойкость. В зависимости от типа связующего теплостойкость этих материалов составляет 160—300 °С [1]. При температурах, выше указанных, происходит выгорание связующего, на поверхности обработанной детали появляются прижоги [4]. Поэтому уровень температур в зоне резания должен быть значительно меньше, чем при обработке металлов.

4. Абразивное воздействие наполнителя. Наполнителем являются стеклянные волокна, обладающие высокой твердостью и абразивной способностью [1]. Наличие в зоне резания твердых составляющих приводит к абразивному износу инструмента, который имеет большое значение.

Кроме того, высокая упругость, относительная мягкость, невозможность применения СОЖ при обработке стеклопластиков при малой толщине среза препятствуют процессу нормального врезания инструмента в обрабатываемый материал, что при некотором округлении режущего лезвия может до известной степени приблизить процесс резания к процессам истирания и смятия обрабатываемого материала. Эти явления будут способствовать повышению коэффициента трения по соприкасающимся поверхностям инструмента и материала, что, в свою очередь, вызовет повышение температуры в зоне резания.

При обработке стеклопластиков задний угол является весьма важным элементом конструкции инструмента, так как износ по задней грани обычно лимитирует стойкость [2].

Так как увеличение заднего угла снижает работу трения, а следовательно, и износ по задней грани, то можно предполагать, что максимальная стойкость будет обеспечиваться при заточке больших задних углов. Кроме того, увеличение заднего угла дает возможность уменьшить радиус скругления режущей кромки, что при высокой упругости и сравнительно малой упругости и сравнительно малой твердости стеклопластиков способствует лучшему врезанию инструмента в обрабатываемый материал. Диапазон величин задних углов лежал в пределах 5-40°, так как падение стойкости наблюдается при  $\alpha > 35^\circ$ . Оптимальный задний угол для сверл из быстрорежущей стали при обработке стеклопластика лежит в пределах 30-32° [2]. Дальнейшее увеличение заднего угла несколько снижает стойкость.

Основным ограничением при увеличении  $\gamma$  является слишком сильное ослабление теплоотводящей способности режущего клина и чрезмерная локализация упругих напряжений в зоне резания [3]. Как известно, одно из назначений переднего угла  $\gamma$  - уменьшение пластического деформирования. Значительное упругое восстановление стеклопластиков и их относительная мягкость ( $НВ \leq 45$ ) вызывает «обжатие» режущего клина инструмента обрабатываемым материалом. Поэтому целесообразно увеличивать как задний, так и передний угол с целью уменьшения контактирующих поверхностей инструмента с материалом изделия.

Совершенно очевидно, что уменьшение площади контакта по соприкасающимся поверхностям при малой скругленности вершины режущего клина будет способствовать снижению сил трения, а, следовательно, и температуры в зоне резания.

Вследствие малой теплопроводности, низкой температуры размягчения и высоких значений упругого восстановления пластмасс поверхности отверстий имеют тенденцию к усадке в процессе сверления, увеличивающей трение между сверлом и стенкой отверстия. Трещины вокруг кромок отверстий увеличиваются с возрастанием угла  $w$ , так как при этом увеличивается и передний угол сверла. Оплавление внутренней поверхности отверстия наиболее интенсивно при использовании сверла с малым углом наклона винтовой канавки, потому что такая конструкция сверла мешает удалению стружки из отверстия [2]. Размеры трещин изменяются в зави-

симости от подачи и угла при вершине сверла. С увеличением угла при вершине трещины становятся больше, так как увеличивается толщина стружки. При обработке пластмасс сверлами специальной конструкции количество трещин сводится к минимуму. Сверло с двойной заточкой имеет двухступенчатый угол при вершине (двойную заточку). Толщина стружки, срезаемой второй режущей кромкой сверла этого типа (образованной дополнительной заточкой), уменьшается и благодаря этому трещины вокруг кромки отверстия не образуются. Сверло другого типа, с подточкой режущих кромок, уменьшает трещинообразование, за счет уменьшения переднего угла [3].

Исследования, проводимые в данной области, показали, что геометрические и конструктивные параметры инструмента, рекомендуемые для обработки стеклопластиков, варьируются в довольно широких пределах, а оптимальная конструкция инструмента определяется в общем случае исходя из физико-механических свойств обрабатываемого материала.

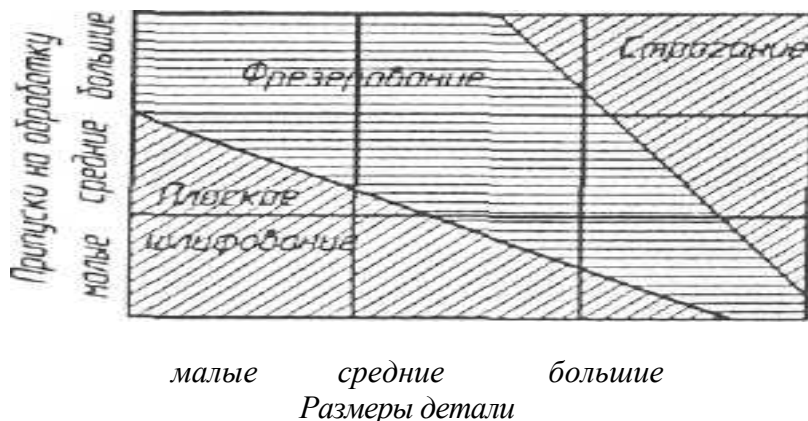
#### Литература

1. Хрулев В.М.. Технология и свойства композиционных материалов для строительства. Учебное пособие для строит.-технол. спец. вузов. Уфа: ТАУ, 2001-168 с.
2. Руководство по курсовому проектированию металлорежущих инструментов: Учебное пособие для вузов по специальности «ТМ, металлорежущие инструменты и станки», под ред. Г.Н. Кирсанова – М.: Машиностроение 1986 г – 288 с;
3. Федоров Ю.В., Роговой В.М. Режущие и вспомогательные инструменты. Методические указания, АлтГТУ им. И.И. Ползунова – Барнаул, 1996 – 23 с;
4. П.Я.Ящерицин и др. Основы резания материалов и режущий инструмент. Минск. Высшая школа, 1975 г.

### СПОСОБЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПЛОСКОСТЕЙ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Кормщик Д.С. – студент, Дятчин Н.И. – к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

К корпусным относятся детали, содержащие систему отверстий и плоскостей, координированных друг относительно друга. К ним относят корпуса редукторов, коробок передач, насосов и т. д. для которых характерно наличие опорных достаточно протяженных и точных плоскостей. Поэтому одной из важных задач, стоящих перед технологом, является обоснованный выбор способов механической обработки плоскостей корпусных деталей в зависимости от их размеров, припусков на обработку, а также серийности производства.



Р и с . 1. Области применения различных методов обработки плоских поверхностей



Крупные (большие) детали с большими и средними припусками на обработку в условиях мелкосерийного и единичного производства желательно обрабатывать методом строгания, который находит большое применение благодаря тому, что для работы на строгальных станках не требуется сложных приспособлений и инструментов, является весьма гибким при переходе на другие условия работы. Однако этот метод малопроизводителен, поскольку обработка выполняется однолезвийным инструментом (строгальными резцами) на умеренных режимах резания, а наличие вспомогательных ходов увеличивает время обработки. Кроме того, для работы на этих станках требуются рабочие высокой квалификации.

При строгании применяют поперечно-строгальные, а также одно и двухстоечные продольно-строгальные станки. Стругание на продольно-строгальных станках крупных и тяжелых деталей применяют практически во всех случаях и в серийном производстве. Объясняется это простотой и дешевизной инструмента и наладки; возможностью обрабатывать поверхности сложного профиля простым универсальным инструментом, малой его чувствительностью к литейным порокам, возможностью снимать за один рабочий ход большие припуски до 20 мм и обеспечивать сравнительно высокую точность. При тонком строгании может быть достигнута шероховатость  $Ra = (1,6...0,8)$  мкм и неплоскостность 0,01 мм для поверхности 300х300 мм.

Для увеличения производительности процесса строгания заготовки устанавливают в один или несколько рядов; обрабатывают одновременно заготовки деталей различных наименований. Наиболее рационально применять строгание длинных и узких поверхностей. При обычной форме резца строгание производится с глубиной резания от 3 до 10 мм и подачей 0,8... 1,2 мм на один двойной ход стола, обеспечивая шероховатость  $Ra = 3,2...12,5$  мкм. Фрезерование в настоящее время является наиболее распространенным методом обработки плоских поверхностей. В массовом производстве фрезерование вытеснило применявшееся ранее строгание.

Фрезерование осуществляется на фрезерных станках, которые подразделяются на горизонтально-фрезерные, вертикально-фрезерные, универсально-фрезерные, продольно-фрезерные, карусельно-фрезерные, барабанно-фрезерные и многоцелевые. Существуют следующие виды фрезерования: цилиндрическое, торцовое, двустороннее и трехстороннее. Широкое применение находит в настоящее время фрезерование торцовыми фрезами, а при достаточно больших диаметрах фрез (свыше 90 мм) – фрезерными головками (торцовыми фрезами со вставными ножами). Фрезерование характеризуется высокой производительностью и сравнительно высокой точностью. Фрезерование в два перехода (черновой и чистовой) позволяет достичь: по точности размеров 9–7 кв.; по шероховатости  $Ra = 6,3...0,8$  мкм; отклонение от плоскостности 40...60 мкм.

Одним из наиболее производительных способов фрезерования является обработка плоскостей на карусельно- и барабанно-фрезерных станках, что возможно по непрерывному циклу. Одним из способов сокращения основного времени является внедрение скоростного и силового фрезерования. Скоростное фрезерование характеризуется повышением скоростей главного движения резания, при обработке стали до 350 м/мин, чугуна – до 450 м/мин, цветных металлов – до 2000 м/мин при небольших подачах на зуб фрезы  $S_z = 0,05...0,12$  мм/зуб – при обработке сталей, 0,3...0,8 мм/зуб – при обработке чугуна и цветных сплавов. Силовое фрезерование характеризуется большими подачами на зуб фрезы ( $S_z > 1$  мм). Как скоростное, так и силовое фрезерование выполняется фрезами, оснащенными твердосплавными и керамическими пластинами. Тонкое фрезерование характеризуется малыми глубинами резания ( $t < 0,1$  мм), малыми подачами ( $S_z = 0,05...0,10$  мм) и большими скоростями главного движения резания.

Протягивание наружных плоских поверхностей корпусных деталей, благодаря высокой производительности и низкой себестоимости находит все больше применение в крупносерийном и массовом производстве. Операция протягивания является самым высокопроизводительным методом обработки плоскостей, обеспечивающим точность размеров

9–7 квал. и шероховатость  $Ra \sim (3,2...0,8)$  мкм. Основными преимуществами протягивания по сравнению с фрезерованием являются: высокая производительность; высокая точность; высокая стойкость инструмента. Ограничениями широкого применения протягивания являются высокая стоимость и сложность инструмента.

Протягивание плоскостей реализуют на вертикально- и горизонтально-протяжных станках. Для этих типов производств протягивание экономически выгодно, несмотря на высокую стоимость оборудования и инструмента. Поэтому в настоящее время фрезерование часто заменяют наружным протягиванием (плоскости, пазы, канавки и т. п.). В массовом производстве для наружного протягивания применяют высокопроизводительные многопозиционные протяжные станки, а также станки непрерывного действия. Обычно при протягивании используются следующие режимы: подача на зуб  $S_z = 0,1...0,4$  мм/зуб; скорость главного движения резания  $V = 6... 12$  м/мин с максимальными припусками до 4 мм с шириной протягивания до 350 мм.

Плоское шлифование является одним из основных методов обработки плоскостей (прежде всего закаленных) корпусных деталей для достижения высокого качества. Чаще всего применяется для снятия небольших припусков при обработке деталей малых и средних размеров. Но в ряде случаев плоское шлифование может с успехом заменить фрезерование. Шлифование плоских поверхностей, как правило, производится с применением СОЖ и может быть осуществлено периферией или торцом круга. Шлифование осуществляют на плоскошлифовальных станках с крестовым или круглым столом, как обычного исполнения, так и с ЧПУ. Плоским шлифованием обеспечиваются следующие точность размеров и шероховатость поверхности: черновое (предварительное) – 9–8 кв. точности и шероховатость до  $Ra = 1,6$  мкм; чистовое – 8–7 кв. точности и шероховатость  $Ra = (0,4...1,6)$  мкм; тонкое – 7 кв. точности и шероховатость  $Ra = (0,4...0,1)$  мкм.

**АНАЛИЗ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ  
ШЛИФОВАНИЯ ПРЕРЫВИСТЫМ ИНСТРУМЕНТОМ**  
Вялков Е.В. - магистрант, Татаркин Е.Ю. - д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Процесс шлифования металлов сопровождается пластическими деформациями и выделением в зоне резания большого количества тепла. Напряженное состояние металла в основном зависит от преобладающего действия теплового или силового факторов. Формирование остаточных напряжений в поверхностных слоях металла вызывается следующими основными причинами.

1. При шлифовании металлов, склонных к структурным превращениям, преобладающее влияние на образование остаточных напряжений оказывает тепловой фактор. Под действием высоких температур в тонком поверхностном слое происходят структурные превращения, обусловленные объемным изменением металла.

2. При шлифовании выделяющееся тепло в зоне контакта круга с деталью приводит к почти мгновенному локальному нагреву тонких поверхностных слоев металла, снижая при этом до минимума его модуль упругости. Последующее быстрое охлаждение поверхностных слоев сопровождается их сжатием. Сравнительно холодные глубинные слои металла препятствуют сжатию поверхностных слоев. В результате во внешних слоях металла возникают остаточные напряжения растяжения, а в нижележащих слоях — уравновешивающие их напряжения сжатия.

3. Пластическая деформация металла при шлифовании иногда сопровождается наклепом. Наклеп, вызывая значительный рост плотности дислокаций и вакансий, увеличивает объем металла. При этих условиях поверхностные пластически деформированные слои металла расширяются, стремясь занять больший объем. Этому препятствует нижележащие уп-

руго-деформированные слои. В результате такого взаимодействия в наружном наклепанном слое возникают сжимающие напряжения, а во внутренних слоях - растягивающие.

При шлифовании все факторы оказывают одновременное влияние на формирование остаточных напряжений. В результате их взаимодействия окончательное распределение остаточных напряжений по глубине поверхностного слоя приобретает весьма сложный характер. Под влиянием указанных причин в поверхностном слое детали возникают остаточные напряжения, величина, знак, характер и глубина распространения которых зависят от марки материала и его исходного состояния после термической обработки и от режимов шлифования.

Характеристика рабочей поверхности прерывистых инструментов характеризуется повышенной ударной нагрузкой. Сила удара, воспринимаемая в основном зернами зоны, прилегающей к передней кромке рабочего выступа, вызывает интенсивное выкрашивание их из связки. По мере износа инструмента производится самооформление профиля, т.е. на выступах образуется рабочие поверхности, имеющие некоторый угол атаки к плоскости резания. Следует отметить, что даже частичное самооформление профиля коренным образом изменяет схему удаления припуска.

Самозатачивание прерывистого инструмента связано с динамическими силами, присутствующими в процессе, так как здесь зерна врезаются в металл с ударом. Это, безусловно, вызывает расщепление зерен по плоскостям спайности и разрушение связки. С другой стороны, послойное удаление припуска зернами фронтальной поверхности уменьшает удельные нагрузки на каждое зерно и снижает на 30-40% температуру в зоне резания. Снижение удельных нагрузок и температуры в зоне шлифования уменьшает схватывание (адгезию) частиц металла с абразивом и взаимную их диффузию. Возникновение в системе СПИД вынужденных колебаний в результате прерывания процесса резания изменяет условия трения и износа инструмента. Наличие колебаний уменьшает сопротивление сходу стружки и облегчает процесс микрорезания. Здесь трение покоя заменяется трением движения. Таким образом, процессу прерывистого шлифования присущи два фактора, которые противоположно влияют на самозатачиваемость кругов:

1. Динамический удар и наличие высокочастотных колебаний, увеличивающие выкрашивание зерен и вырывание их из связки.

2. Снижение температуры, адгезионных и диффузионных процессов, уменьшающее силы вырывания зерен из связки.

Температуру в зоне шлифования можно понизить, если шлифование производить с определенными интервалами, причем продолжительность резания между этими интервалами сделать меньше времени теплового насыщения металла и за время разрыва процесса охладить поверхность детали. Под тепловым насыщением понимается такое состояние поверхности, когда её температура достигает максимума и сохраняется определенное время.

При этом состоянии возможно образование дефектов, ухудшающих эксплуатационные свойства деталей. За счет интервалов разрыва процесса удается заметно снизить температуру в зоне резания и избежать появления дефектов шлифования. Такой процесс можно осуществить прерывистыми кругами, имеющими на рабочей поверхности ряд чередующихся выступов и впадин определенной протяженности. При шлифовании прерывистыми кругами каждая точка поверхности обрабатывается несколькими режущими выступами. Температура поверхности в промежутках между резанием не успевает понизиться до исходной, а уменьшается лишь на 20-25%.

Шлифование последующими режущими выступами круга не повышает существенно температуру в зоне резания, так как толщина снимаемого слоя уменьшается, снижая интенсивность теплового источника.

Существуют различные методики определения геометрических параметров прерывистых кругов, для их применения необходимо знать время теплового насыщения и время остывания до исходной температуры. Определять эти величины можно как экспериментально,

для каждого конкретного случая, так и аналитически для любого режима шлифования и любого материала обрабатываемой детали с помощью решения дифференциального уравнения.

Зависимость  $\Theta = \varphi(u, F_{01}, n)$  позволяет определять параметры прерывистых кругов, где  $\Theta$  – максимальная безразмерная температура при насыщении от величины  $n = \frac{v_2}{v_1}$ , для двух безразмерных скоростей теплового источника  $u$ .

$F_{01}$  – протяженность режущих выступов,  $F_{02}$  – протяженность прерываний (впадин).

Следует отметить, что одному и тому же значению  $\Theta$  соответствует множество различных комбинаций  $F_{01}$  и  $n$ , что позволяет варьировать геометрические параметры кругов с учетом обеспечения достаточно высокой размерной стойкости.

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ РАЗРУШЕНИЯ НАПЫЛЕННЫХ ПОКРЫТИЙ

Ламов П.В. - ассистент, Гончаров В.Д. - к.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

### **Разрушение покрытий из пластичных материалов.**

Вязкое разрушение сопровождается значительной пластической деформацией и распространяется в направлении наибольших касательных напряжений. Для вязкого разрушения требуются значительные затраты энергии. Вязкое разрушение происходит в несколько этапов. На первом этапе в металле возникают поры, которые соединяются друг с другом с образованием трещины. Второй этап - рост трещины. На третьем этапе происходит отделение частей металла по плоскостям, расположенным под углом, близким к  $45^\circ$  к оси растяжения.

Глубинное вырывание возникает при относительном движении сцепившихся тел, когда образовавшийся вследствие молекулярного взаимодействия спай прочнее одного или обоих материалов. Разрушение происходит в глубине одного из тел. Поверхности разрушения у пластичных материалов представляют собой выступающие вытянутые по направлению движения гребни и суживающиеся в глубь материала конусы. Прилегающие к местам вырывов участки пластически деформируются в большей или меньшей степени. Вырванный материал остается на сопряженной поверхности. Это одна из причин переноса материала при трении. Может наблюдаться процесс схватывания отдельных составляющих сплава, остальные составляющие уносятся в смазочный материал или уходят из зоны трения.

Исследования механизмов сцепления никель-алюминиевого покрытия с металлической основой показали термодинамическую невыгодность химического взаимодействия покрытия с основой. Связывание напыляемого материала с подложкой происходит бездиффузионно и обеспечивается, в основном силами механического сцепления и физико-химического взаимодействия.

Возможность образования химического соединения напыляемого материала с основой объясняется присутствием очагов схватывания на границе покрытие-основа. Образование этих очагов объясняется тем, что химическое взаимодействие материалов происходит не по всей поверхности, а лишь на активных центрах, в роли которых могут выступать вакансии, ступеньки дислокаций.

Анализ поверхности разрушения покрытий показывает, что изнашивание имеет механический характер в сочетании с интенсивным адгезионным вырыванием участков покрытия.

Такой характер износа NiAl и TiB<sub>2</sub>+Ni покрытий объясняется невысокой общей твердостью покрытий – 200-250 НВ и химическим сродством материалов покрытий и колодки, что вызывает интенсивную адгезию.

Структурный состав покрытия TiB<sub>2</sub>+Ni отвечает принципу Шотки: в мягкой и пластичной никелевой матрице расположены твердые включения TiB<sub>2</sub> с твердостью 20-25 ГПа, увеличивающие механическую сопротивляемость покрытия. Интенсивность изнашивания данного более твердого покрытия практически не отличается от показателей покрытия из ин-

терметаллида NiAl вследствие более интенсивной адгезии, обусловленной большой долей составляющей чистого никеля в покрытии.

Анализ данных эксперимента показывает, что покрытия из полученных методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза составов NiAl и TiB<sub>2</sub>+Ni имеют удовлетворительную износостойкость благодаря большим значениям силы сцепления данных покрытий с подложкой. Покрытия характеризуются высокой вязкостью и пластичностью. Износ протекает равномерно, показывая линейную зависимость от времени нагружения. Изнашивание имеет механический характер, сочетающийся с интенсивными адгезионными процессами.

При изнашивании разрушение поверхностей может происходить в субмикроскопических масштабах, когда вместе со смазочным материалом или воздухом уносятся обломки кристаллических образований. Продукты износа могут быть от размеров неразличимых пылинок до нескольких миллиметров; чистые поверхности в процессе образования окисляются, сами продукты износа в дальнейшем дробятся, слипаются, прилипают и впрессовываются в сопряженные поверхности. Продукты износа участвуют в процессе изнашивания в качестве промежуточной среды между поверхностями трения. Взаимное внедрение, глубинное вырывание, адгезия, заклинивание и впрессовывание продуктов износа определяют перенос материала с одной поверхности трения на другую.

#### **Разрушение покрытий из хрупких материалов.**

Хрупкое разрушение представляет собой разрыв среды с незначительной предшествующей пластической деформацией. Оно требует мало энергии и распространяется с большой скоростью за счет саморазвивающейся трещины перпендикулярно направлению действия напряжения растяжения. Распространение трещины продолжается до тех пор, пока местные напряжения, возникающие на фронте трещины, не окажутся ниже предела прочности.

Хрупкое разрушение чаще всего происходит по кристаллографическим плоскостям внутри зерна. Такое разрушение называется транскристаллитным или внутризерненным. Однако при низких температурах и наличии на границах зерен дисперсных фаз и примесей металлы и сплавы могут разрушаться и по границам зерен - так называемое инкристаллитное (межзеренное) разрушение.

Хрупкое разрушение наблюдается у металлов и сплавов с ОЦК решеткой и проявляется особенно заметно в присутствии примесей, образующих твердые растворы внедрения.

Одни и те же металлы могут разрушаться и хрупко, и вязко в зависимости от условий, среди которых основными являются скорость деформации, температура и структурное состояние

Хрупкое разрушение возникает при низких температурах и резком приложении нагрузки. Вязкое разрушение связано с высокими температурами и малыми скоростями нагружения. Температура перехода от вязкого к хрупкому разрушению не является постоянной для данного металла. Она зависит от чистоты металла, величины зерна, режимов термообработки.

#### **Полимерные покрытия.**

Механизм изнашивания ПА-6 при нагрузках до 0,6 МПа, судя по поверхности трения образцов волнообразный, что подтверждается периодическими волнообразными неровностями, расположенными нормально направлению истирания, и относительно большими частицами износа. На контртеле в данном случае частично образуется полимерная пленка. При увеличении нагрузки до 0,8 МПа и дальше до 1 МПа контртело полностью покрывается полиамидной пленкой, так как в результате повышения температуры в зоне трения возрастают адгезионные силы между образцом из полиамида-6 и сталью 45. Возникает ситуация, когда когезионные силы в полимере становятся меньше сил внешнего трения (адгезии) и поверхностные слои подвергаются сдвиговым деформациям: на отдельных участках при  $p=0,6$  МПа или на всей поверхности при  $p=1$  МПа происходит их срез и вынос из зоны трения в виде сильно деформированных частиц и пленок. Вследствие попадания продуктов изнашивания на поверхность трения образца на ней образуются в направлении истирания глубокие нерав-

номерные риски. При трении ПА-6 по перенесенной пленке резко уменьшается отвод тепла из зоны трения, что влечет за собой повышение температуры в зоне контакта и изнашивание ПА-6. Такие особенности трения и изнашивания позволяют сделать вывод, что при давлениях свыше 0,8 МПа реализуется пластичный механизм истирания.

При добавлении углеродных волокон механизм изнашивания представляет собой комбинацию псевдоупругого и пластичного. Волокна под воздействием сдвиговых усилий расщепляются на микрофибриллярные части [1].

#### Древесно-полимерные материалы.

Результаты фрикционных испытаний экструзионных древесно-полимерных материалов (ЭДМ) свидетельствуют, что износ ЭДМ происходит вследствие усталостного разрушения поверхностных слоев под действием повторных нормальных напряжений и сил трения. Разрушение происходит путем отрыва и выкрашивания менее эластичных частиц ЭДМ. Наблюдается также износ, который носит адсорбционно-усталостный характер, когда в процессе трения в зоне контакта образуются низкомолекулярные соединения, играющие роль поверхностно-активных веществ (ПАВ). Эти соединения активизируют (вследствие эффекта Ребиндера) разрыхление поверхностных слоёв ЭДМ [2].

Таким образом, анализ механизмов разрушения различных типов покрытий, различного состава показывает, что существует весьма малое число основных схем разрушения покрытий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А.И. Буря, Б.И. Молчанов//Трение и износ 1992. Т. 13, №5. С 900-904.
2. Б.И. Купчинов, С.Ф. Ермаков, Р.Я. Пирназаров// Трение и износ 1991.Т. 12, №1. С 63-71.

### ВНУТРЕННЕЕ ШЛИФОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ КОМБИНИРОВАННО-ИМПРЕГНИРОВАННЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Шевелева Е.А. – аспирант, Татаркин Е.Ю. – д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Работоспособность комбинированно-импрегнированного инструмента для шлифования (Патент РФ на полезную модель 50904/МПК В24D3/00) оценивали на «Алтайском заводе прецизионных изделий» (г. Барнаул). Данное предприятие специализируется на выпуске осеботорочных деталей топливной аппаратуры, в частности распылителей и форсунок для дизельных двигателей. Обработывали отверстие корпуса распылителя VB 770000 (рис.1.) с режимами:  $n_{дет} = 1500$  об/мин,  $n_{инст} = 80000$  об/мин,  $S_{пр} = 0,16$  мм/об,  $V_{дв.х.} = 120$  мм/мин,  $t = 0,016$  мм на специальном внутришлифовальном автомате NL-231L (фирма-изготовитель UVA, Япония).

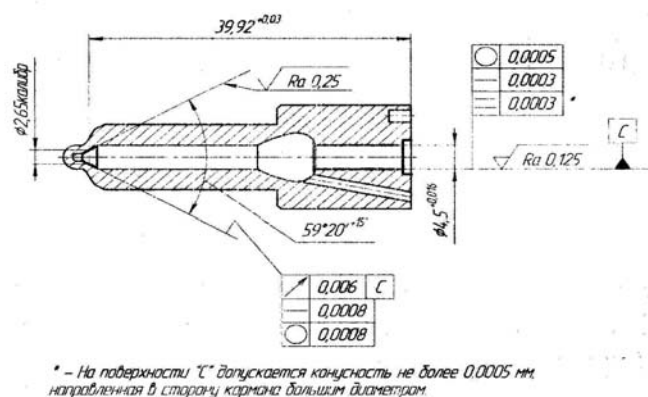


Рис.1. Корпус распылителя VB 770000 и технические требования, предъявляемые к рабочим поверхностям отверстий

Высокие требования, предъявляемые к точности и качеству обработанных поверхностей, обусловлены характером работы распылителя. Выход за допустимые пределы некруглости отверстия корпуса способствует неравномерному ходу иглы; шероховатость обработанной поверхности влияет на степень изнашивания рабочих поверхностей и т.д. Достижение размерной точности не вызывает особой трудности, так как применяемое оборудование позволяет получать заданные параметры. Сложнее добиться необходимого качества поверхности и выдержать допуски формы и расположения. В качестве контролируемых параметров при оценке работоспособности комбинированно-импрегнированного инструмента выбраны: шероховатость обработанной поверхности  $R_a$ ; отклонения от круглости отверстия  $\emptyset$ .

Шероховатость поверхности регистрировали на профилографе-профилометре модели 250 завода «Калибр» Погрешность измерения  $\pm 3\%$ . Полученные результаты шероховатости представлены в таблице 1.

Таблица 1

Инструмент	Шероховатость поверхности									
	№ образца									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Традиционный	0,25	0,23	0,26	0,24	0,25	0,25	0,24	0,26	0,25	0,25
	$R_{a\text{cp}}=0,248$									
Импрегнированный	0,14	0,17	0,16	0,16	0,14	0,14	0,15	0,16	0,015	0,17
	$R_{a\text{cp}}=0,1405$									

Отклонения от круглости отверстия определяли с помощью кругломера «Talyrond-73», погрешность измерения не превышает 0,025 мкм (таблица 2).

Таблица 2

Инструмент	Отклонения от круглости									
	№ образца									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Традиционный	0,50	0,60	0,55	0,56	0,58	0,48	0,51	0,50	0,42	0,55
	$\emptyset_{\text{cp}}=0,525$									
Импрегнированный	0,48	0,47	0,52	0,51	0,50	0,55	0,52	0,52	0,49	0,50
	$\emptyset_{\text{cp}}=0,506$									

В ходе экспериментальных исследований установлено, что за счет применения комбинированно-импрегнированного инструмента для шлифования (по сравнению с традиционным) можно добиться уменьшения шероховатости до 43% ( $R_{a\text{трад}}=0,248$ ,  $R_{a\text{имп}}=0,1405$ ), отклонения от цилиндричности (некруглости) до 4% ( $\emptyset_{\text{трад}}=0,525$  мкм,  $\emptyset_{\text{имп}}=0,506$  мкм).

Полученные данные свидетельствуют о необходимости учитывать при проектировании циклов шлифования влияние свойств комбинированно-импрегнированного инструмента. Это позволит повысить производительность процесса, снизить себестоимость операции и всего изделия в целом. Для рассматриваемых условий за счет увеличения периода стойкости АИ возможны следующие варианты изменения цикла шлифования (рис.2, а): сокращение числа правок абразивного инструмента; уменьшение величины компенсации снимаемого слоя.

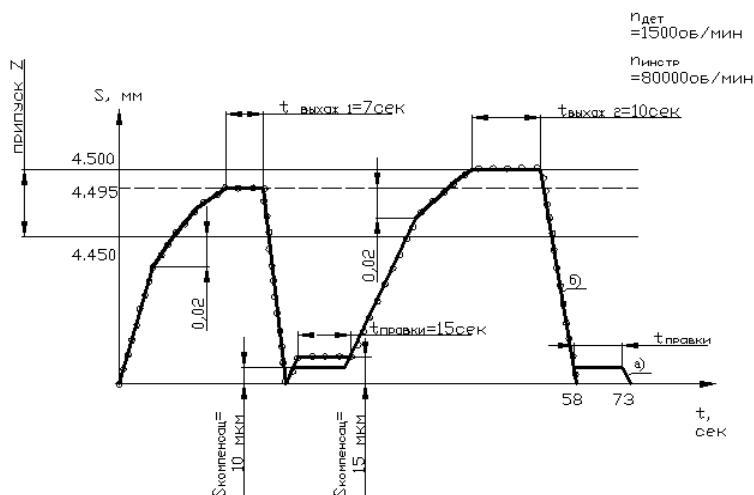


Рис.2. Цикл внутреннего шлифования корпуса распылителя VB 770000

- а) ———— - реальный цикл шлифования
- б) ○○○○ - измененный цикл шлифования

На основе анализа предложенных мероприятий разработаны рекомендации: сократить число правок АИ до одной (после черного прохода) с увеличением припуска, снимаемого при правке до 15 мкм (рис.2, б); уменьшить величину компенсации с 10 мкм до 6 мкм, оставив неизменными условия обработки. Апробация спроектированных циклов шлифования показала положительные результаты.

Применение комбинированно-импрегнированного абразивного инструмента (Патент РФ на полезную модель 50904/МПК В24Д3/00) и изменение цикла внутреннего шлифования корпуса распылителя VB 770000 (сокращение числа правок АИ) позволит увеличить стойкость АИ в 1,8 раз, сократить штучное время в 1,3 раза и уменьшить расход правящего алмаза. Ожидаемый годовой экономический эффект - 182 000 руб.

## ПРИМЕНЕНИЕ СВС ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

Ксюнин А.В. – студент, Черданцева М.А. – студент,  
Гончаров В.Д. – к.т.н., профессор, Евтушенко А.Т. – к.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Обычно синтез тугоплавких соединений проводят в специальных печах при температурах 1000-1500 °С. Для таких процессов эти температуры все-таки низки, и, несмотря на длительную многочасовую выдержку, очень трудно доводить реакции до конца, в связи с чем получаемые соединения всегда загрязнены исходными веществами и промежуточными продуктами. Кроме того, производительность печей невелика.

Именно поэтому начали искать новые способы получения тугоплавких соединений. Были использованы газофазное осаждение, синтез в низкотемпературной плазме, в ударной волне. Однако наиболее простым и эффективным решением стал новый метод, основанный на закономерностях горения конденсированных систем. Этот метод, получивший название «самораспространяющийся высокотемпературный синтез», или сокращенно СВС. Открыто советскими учеными в 1967 году Мержановым А.Г., Боровинской И.П., Шкиро В.М.

Суть СВС заключается в следующем: инициируется экзотермическая реакция в тонком приповерхностном слое, выделяется тепло, которое благодаря теплопередаче прогревает соседние слои, возбуждает в них реакцию. В результате образуется фронт реакции (фронт горения), самопроизвольно распространяющийся по веществу (шихте) с определенной скоро-



стью, разогревая смесь и переводя исходные реагенты в продукты горения синтезированные материалы). Достоинства СВС очевидны: отсутствие затрат на электроэнергию для нагрева шихты до высоких температур (работает тепло, выделяемое реакцией).

К семействам продуктов, получение которых СВ-синтезом целесообразно как с точки зрения их технического уровня, так и из экономических соображений, можно отнести, прежде всего, дисперсные материалы. Развитие интегральных технологий СВС требует, кроме того, проведения работ по созданию специализированного технологического оборудования, в наиболее полной степени отвечающего концепции универсальности.

Впервые установлено существование двух видов механизма взаимодействия, обусловленных типом диаграммы состояния, образуемой компонентами реакционной системы, растворимостью компонентов в твердой и жидкой фазе, а также соотношением потоков кинетического (растекание) и химического (фазообразование) транспорта вещества в реакционной зоне. При химическом взаимодействии поверхности тугоплавкого компонента с легкоплавким происходит специфический теплоотвод от поверхности частицы в зону с движущейся границей плавления. В зависимости от кинетических и тепловых параметров получены качественно различные режимы разогрева: режим с максимумом, автоколебательный разогрев и режим монотонного роста температуры.

В процессе исследований стало ясно, что синтез химических соединений является простейшей из задач, решаемых методом СВС и обнаружилось, что метод позволяет непосредственно получать многие требуемые продукты с заданной структурой. Оказалось, что основные параметры продуктов (соотношение и относительные положения фазовых составляющих, размер кристаллических зерен, распределение примесей, пористость и т.п.) могут изменяться в очень широких пределах при варьировании условий проведения процесса. Метод СВС позволяет получать самые разнообразные продукты (порошки, спекаемую керамику, пористые и литые изделия, поликристаллические литые материалы, пленки, волокна, композиты и т.п.). Уже сейчас на пилотных и промышленных установках этим методом изготавливают большое число перспективных и важных материалов, включая абразивы и твердые сплавы, техническую керамику, нитридные ферросплавы, материалы с эффектом памяти формы, огнеупоры, катализаторы, электротехнические и электронные материалы и т.п.

Благодаря высоким температурам и скоростям протекающих процессов, в волнах горения проявляются эффекты самоочищения, самоотжига и самозакалки получаемых продуктов, вследствие чего СВС - материалы (даже при одинаковом химическом составе) могут значительно превосходить по качеству аналогичные материалы, получаемые общеизвестными методами

СВС - порошки имеют более высокую чистоту (исходя из наличия непрореагировавших компонентов и других примесей) и более однородное распределение кристаллических зерен по размерам. Они могут быть получены в виде агломератов или монокристаллов, причем монокристаллические порошки могут иметь очень высокую дисперсность (их удельная поверхность составляет около 10-20 м<sup>2</sup>/г), что делает их весьма перспективным материалом для дальнейшего спекания. Порошки-агломераты также имеют много специальных применений, одним из поразительных примеров чего может служить их использование в абразивных пастах.

Структурная прочность СВС - материалов (т.е. прочность, обусловленная заданной структурой) выше, чем у аналогов, получаемых обычными методами, что объясняется меньшим содержанием примесей, которые обычно концентрируются вдоль границ зерен и ослабляют сцепление между зернами кристаллической структуры. Структурная прочность на изгиб СВС – сплавов на 200-400 МПа выше, чем у обычных.

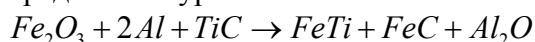
Использование метода СВС для получения продукции высокого качества требует дальнейших исследований в области макрокинетики процессов горения, так как, подобно многим другим научно-техническим задачам, метод прост в использовании, но сложен для изучения. Трудность - в необходимости правильного выбора шихты, которая в процессе реакции должна выделять тепло, что, к сожалению, ограничивает выбор реагентов.

СВ-синтез инструментальной стали из оксида железа, алюминия и карбида титана

Евтушенко А.Т. разработаны способы получения инструментальных сталей из отходов кузнечного производства (окалины) на основе железа и карбида титана. Карбид титана является соединением, совокупность физико-химических характеристик которого делает его уникальным упрочнителем сплавов, по своим свойствам относящихся к инструментальным сталям.

В лабораторных условиях был проведен эксперимент по получению инструментальной стали в СВС - процессе из порошков окалины  $Fe_2O_3$  - $X_1$ , алюминия ( $X_2$ ) и карбида титана  $TiC$  ( $X_3$ )

Химическая реакция определяется уравнением



Длительность процесса получения легированного сплава железа в режиме термосинтеза она составляет 20-120 сек (в зависимости от массы шихты).

Количество железной окалины  $Fe_2O_3$  74-76 мас. % является оптимальным, т.к. происходит полное расплавление окалины. Реакция идёт бурно, с достаточной температурой и количеством тепла, чтобы вступил в реакцию карбид титана.

Количество карбида титана 15-20 мас. % термитной смеси является оптимальным. Повышается скорость и температура горения, увеличивается количество тепла, получается компактный металлический слиток ферротитана и карбида железа с твёрдостью до 55 HRC. При меньшем содержании реакция идёт без увеличения температуры, скорости горения и количества тепла, при более высоком содержании карбида титана реакция горения не идёт.

Применение высокоинформативных средств диагностики дает исследователям возможность перевода неуправляемые или слабоуправляемых термохимических реакций в разряд управляемых.

Для проведения эксперимента исходная шихта (смесь  $Fe_2O_3$ , Al и  $TiC$ ) помещалась в стальную оснастку, имеющую прямоугольное отверстие для установки в нем держателей кварцевого стекла, через которое регистрируется яркостная температура поверхности шихты, либо исходную шихту помещают в кварцевый стакан.



Рисунок 1 - Самораспространяющийся высокотемпературный синтез интерметаллида.

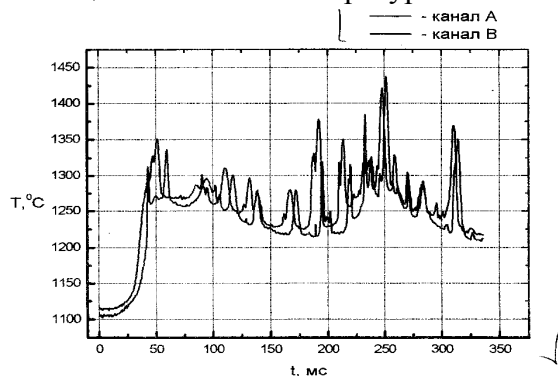


Рисунок 2 - Термограммы реакции СВ - синтеза инструментальной стали в двух точках (расстояние между каналами на поверхности шихты - 0,015 м)

Из полученных термограмм видно, что температура в процессе взаимодействия имеет явно нестационарный характер, периоды роста сменяются периодами стабилизации и даже снижения, так как реакционная ячейка проходит ряд превращений. Экзотермические участки сменяют участки с эндотермическим распадом.

Максимальная температура слабо зависит от начальной температуры и состава. СВС - инструментальная сталь на основе карбида титана имеет одновременно свойства химического соединения и твердого раствора, которые определяются режимами горения, характером и энергией связи, а также особенностями кристаллической решетки и структуры, причем твердые растворы могут быть как растворами внедрения, так и растворами замещения.

По результатам экспериментов (таблица 1) и характеру расположения точек построены зависимости твердости сплава (в HRC) и скорости распространения фронта горения (в м/с) от количественного содержания карбида титана в шихте (в масс. % термита).

Таблица 1 - Значения твердости сплава, скорости распространения и максимальной температуры фронта горения для количественного содержания карбида титана в шихте.

X (масс., %)	Y (HRC)	V (м/с)	T <sup>0</sup> C
0	10	0,15	1580
5	15	0,12	1290
10	48	0,11	1265
20	60	0,07	1170

Примечание: получаемые слитки имели небольшую пористость, поэтому для изготовления высококачественного металлообрабатывающего инструмента необходима дальнейшая обработка.

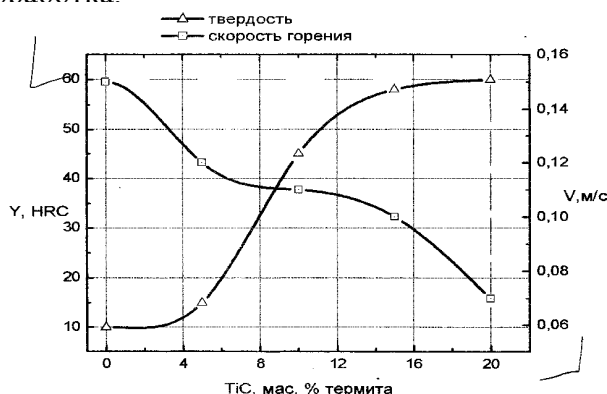


Рисунок 3 - Зависимость твердости сплава стали Y и скорости фронта горения V от массы карбида титана.

С увеличением содержания карбида титана в шихте твердость сплава увеличивается, а скорость фронта горения уменьшается по нелинейному закону, причем изменение характера зависимостей происходит практически при одном и том же значении массы карбида титана в шихте (8-10 масс. % термита). Повышение твердости сплава, видимо, связано с повышением концентрации углерода до эквивалентного уровня.

Введение легирующих элементов оказывает неоднозначное влияние на прочность, пластичность, жаростойкость и износостойкость (твердость) инструментальных сталей, выявлено, что все легирующие элементы или растворяются в железе, образуя интерметаллиды, или выгорают (при температуре их плавления, значительно меньшей температуры фронта горения).

TiC - карбид титана в СВС - процессе распадается на Ti и активный углерод, который в соединении с железом образует сталь, причем содержание углерода в стали пропорционально количеству TiC:

TiC, % термита*	5	10	15	20
C, %	0,3	0,5	0,6	0,7

Таблица 2 – Содержание С в зависимости от количества добавленного TiC  
\* Термитная смесь (термит) - Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (80%) - Al (20%).

TiC Масс., % термита	Режим термической обработки T <sup>0</sup> C		
	Закалка**	Отпуск до 550	Отпуск до 750
10	48	10	—
15	56	25	12
20	60	36	14

Таблица 3 - Твердость (HRC) СВС- сплава системы Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - Al -TiC\* в зависимости от температуры отпуска

\*) Оксид железа Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-80 мас.% и алюминий Al-20 мас.% образуют термитную смесь (термит).

\*\*\*) Закалка производилась сразу после окончания СВС - процесса.

Режим охлаждения	На воздухе	В воде
С	1,65	1,42
Ti	0,38	0,28

Таблица 4 - Содержание углерода и титана (%) в СВС – сплаве Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> -Al - TiC-15 мас. % термита в зависимости от режима охлаждения.

Тип сплава	Режим термообработки	HRC
TiC 15%+FeSi2%	СВС	63...64
TiC 15%+ FeSi2%	СВС+закалка	65...67
TiC 15%+Mo5%	СВС	50...51
TiC 15%+ Mo5%	СВС+закалка	61...64
TiC 15%+ Mo5%	Отпуск 600 <sup>0</sup> C 1 час	58...59

Таблица 5 – Твердость материалов полученных СВС с применением термообработки и без.

Выводы: Стали полученные СВ – синтезом имеют твердость которая позволяет их использовать как штамповые или инструментальные при небольших скоростях резания . Твердость полученного СВС сплава в результате закалки увеличивается незначительно, у сплавов с Мо наблюдается высокая теплостойкость (отпуск при 600<sup>0</sup>C в течении 1 часа уменьшает твердость).

#### Литература

1. Мержанов А.Г. СВС – технологии XXI века. – Черноголовка, ИСМАН, 2005, 200с., 44ил.
2. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез: Материалы и технологии. – Новосибирск: Наука, 2001. – 284с.

## АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Владимирцев Д.С. – магистрант, Щербаков Н.П. – к.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

В современном машиностроении зачастую огромное количество времени уходит на технологическую подготовку производства, в частности на разработку технологических процессов.

Для сокращения времени проектирования целесообразно применять системы автоматизированного проектирования (САПР), но только при экономическом обосновании данного внедрения, потому что такие системы имеют высокую стоимость и не каждое предприятие может себе это позволить.

Применительно к проектированию технологии изготовления режущего инструмента такие системы позволяют повысить производительность в 3 – 20 раз за счет сокращения времени проектирования и использования библиотек готовых технологических процессов. А также повысить качество принимаемого решения за счет оптимизации спроектированных вариантов технологических процессов по некоторому критерию оптимальности.

Эффективно применять систему автоматизированного проектирования для инструментов сложной геометрической формы, это избавляет проектировщика от сложных рутинных вычислений и дает больше времени на творческую работу. Например, проектирование протяжек, сверл, фасонных резцов и т. д.

При проектировании инструментов с фасонными поверхностями повышается точность геометрических построений.

Также целесообразно применять систему автоматизированного проектирования для инструментов с корригированным профилем, так как корригирование – наиболее трудоемкий этап (содержит элементы поиска оптимального решения).

Возможно, в будущем появятся такие системы, которые будут обеспечивать весь путь от ввода исходных данных до получения готового инструмента, во всяком случае, к этому необходимо стремиться.

## РАСЧЕТ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВМ

Козлов В.В. - магистрант, Щербаков Н.П. - к.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Методологические основы САПР различных объектов и процессов были заложены и в большой степени реализованы в отечественной промышленности в XX веке. В последнее десятилетие несмотря на общий экономический спад наблюдалась интенсивная компьютеризация как исследований, так и производства, а также резкое расширение возможностей технического и программного обеспечения. Возникшее противоречие обусловило необходимость внедрения различных САПР, в том числе САПР режущего инструмента (РИ).

Одной из проблем решаемых ТПП является инструментальное обеспечение технологических процессов в машиностроении. В следствии усложнения формообразующих операций произошло появление большого количества инструментов разнообразных типоразмеров. Одним из путей решения возникшей проблемы является полная или частичная автоматизация ТПП, в частности проектирование режущего инструмента с использованием ЭВМ.

Автоматизированное проектирование режущего инструмента может осуществляться на различных уровнях – от поиска требуемого типоразмера инструмента до осуществления новых конструктивных решений с использованием ЭВМ в режиме диалога. Это вызвано рядом причин: разной трудоемкостью расчетов различных видов режущего инструмента, в том числе стандартного или специального; различным типам производства и параметрами используемых ЭВМ; изменяющимися и быстро растущими возможностями компьютеров.

Расчет отдельных видов инструмента ведется по известным алгоритмам, которые легко поддаются программированию на ЭВМ. Результатами расчета являются набор геометриче-

ских параметров режущей части, инструментальный материал, элементы конструкции и крепления инструмента, а также весь жизненный цикл изготавливаемого изделия.

Таким образом, можно сделать вывод, что использование ЭВМ для расчёта различного режущего инструмента дает значительное увеличение производительности проектирования, сокращение времени ТПП, возрастанию качества принимаемых решений, возможность проработки нескольких вариантов конструкции инструмента и технологии их изготовления и как следствие всего упрощение работы технолога.

## РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САПР

Макаров Р.Ю. – магистрант, Щербаков Н.П. – к.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

По мнению ведущих мировых аналитиков, основными факторами успеха в современном промышленном производстве являются: снижение себестоимости продукции, снижение времени на ее проектирование и изготовление, повышение качества продукции. Автоматизированное проектирование позволяет снизить время проектирования и изготовления режущего инструмента, что существенно облегчает выпуск и планирование номенклатуры.

Среди современных систем автоматизированного проектирования наиболее распространены следующие: AutoCAD 2008, SolidWorks, КОМПАС. Такие комплексы автоматизированного проектирования позволяют существенно облегчить работу как проектировщика, так и технолога. Крупные компании, участвующие в производстве, как в России так и за рубежом, применяют в своей деятельности САПР.

Система ТехноПро 5.2 предназначена для проектирования операционных, маршрутно-операционных и маршрутных технологических процессов (ТП), включая формирование маршрута, операций и переходов, с выбором оборудования, приспособлений, подбором инструментов, формированием текстов переходов, расчетом технологических размерных цепей, режимов обработки и норм изготовления. Исходными данными для проектирования технологического процесса (ТП) является информационная модель детали. Она состоит из общих сведений о детали, её характеристик, перечня элементов конструкции (поверхностей), составляющих деталь и значений их параметров. В целом, система ТехноПро 5.2 удовлетворяет всем необходимым требованиям в проектировании РИ, удобный графический интерфейс и режим диалога позволяют технологу точно передать машине параметры режущего инструмента.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ МОДИФИКАЦИИ ИХ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Савенков В.В. – магистрант, Щербаков Н.П. – к.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

При работе режущего инструмента наиболее нагруженным оказывается поверхностный слой его режущей части, и именно его свойства определяют работоспособность инструмента в процессе резания.

Совершенствования режущих инструментов осуществляется применением методов модификации их рабочих поверхностей, заключающихся в направленном изменении физико-механических и кристаллохимических свойств поверхностного слоя.

Многообразие используемых в инструментальной промышленности методов модификации можно разделить на 5 групп: нанесение покрытий; поверхностное легирование, термическое воздействие; деформационное воздействие; комбинированная обработка (сочетание методов, относящихся к различным группам).

При применении методов нанесения покрытий на поверхности режущего инструмента происходит формирование тонкой пленки. Поверхностное легирование изменяет химический состав поверхностного слоя режущего инструмента, а термическое воздействие - его структуру. При деформационном воздействии происходит наклеп поверхностного слоя режущего инструмента, изменяется его микрогеометрия и энергетический запас.

Существует множество методов нанесения износостойких покрытий, из которых в инструментальном производстве наиболее широко применяются методы химического осаждения покрытий из газовой фазы - *Chemical Vapour Deposition (CVD)* и физического осаждения покрытий в вакууме - *Physical Vapour Deposition (PVD)*.

При выборе того или иного способа обязательно необходимо учитывать масштабы производства и стоимость технологического оборудования для нанесения покрытий.

Новым словом в нанесении покрытий, является применение нанотехнологий. Для повышения эксплуатационного ресурса инструмента используются технологии ионной имплантации, нанесение специальных износостойких нанопокровов.

Сущность процесса: внедрение в поверхность твердого тела ионизированных веществ с помощью ускоряющего электрического поля в вакууме. В результате значительно повышаются износостойкость, усталостная прочность, коррозионная, эрозионная, кавитационная стойкость, адгезия к обрабатываемому материалу.

Преимущества перед способами нанесения покрытий: отсутствие покрытия и проблем обеспечения его качества и сцепления с поверхностью, отсутствие жестких требований к шероховатости поверхности и к остроте режущих кромок. Нанопорывы могут наноситься на сложный, фасонный, высокоточный инструмент (протяжки, прошивки, развертки, дорны, шеверы, долбяки, фрезы, резцы) и значительно повышают его свойства.

## АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕЗЬБОНАРЕЗНЫХ ГРЕБЕНЧАТЫХ ФРЕЗ

Беломытцев А.Н. – магистрант, Щербаков Н.П. – к.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

За первое десятилетие двадцать первого века темпы развития машиностроительного производства значительно увеличились. Номенклатура выпускаемых изделий изменилась в сторону увеличения. Требования к качеству продукции становятся выше и жестче, при этом сроки выпуска изделий наоборот имеют тенденцию к уменьшению. Поэтому предприятия ведут постоянный поиск путей совершенствования технологических процессов обработки с учетом возможностей, предоставляемых новым высокопроизводительным инструментом, оснасткой, оборудованием, средствами автоматизации и современными информационно-программным обеспечением.

Следует отметить, что основными способами получения поверхностей деталей машин остаётся обработка металлорежущим инструментом. Для резьб, которые изготавливаются на деталях машин, это различный резьбонарезной инструмент: резцы, метчики, плашки, резьбонарезные головки, инструмент для накатывания резьбы, различный комбинированный инструмент. К ним также относятся рассматриваемые резьбонарезные гребенчатые фрезы. Они производительней, чем другие резьбонарезные инструменты. Их особенностями являются возможность одновременного изготовления резьбы по всей её длине, и обработка одной и той же фрезой как внутренних, так и наружных резьб. Следует сказать, что для создания различной резьбы: метрической, дюймовой, трубной необходим соответствующий их профилю инструмент. Поэтому большое количество возможных исполнений резьбовых гребенчатых фрез приводит к необходимости их автоматизированного проектирования с использованием ЭВМ. Оно может осуществляться на различных уровнях - от поиска нужного типоразмера до разработки новой конструкции.

Проектирование осуществляется по следующему алгоритму:

1) Задание исходных данных о нарезаемой резьбе и материале заготовки (твёрдость, шероховатость, свойства детали, вид поверхности, точность нарезаемой резьбы, её номинальный диаметр, шаг, длина, а так же базы данных на фрезы и нарезаемые резьбы);

2) Выбор фрезерования по твёрдости, шероховатости и точности ( $HRC < 70$ ,  $Ra > 0,3$  по E или H);

3) Выбор инструментального материала (марка P6M5 или им подобные для  $HRC < 26$ , 3X3M3Ф для  $HRC < 34$ , в противном случае 18X12ВМБФР или им подобные);

4) Выбор вида резьбы (наружная или внутренняя);

5) Подбор оборудования (необходимо, так как резьбу можно нарезать другим инструментом, а фрезеровать на станках 5 группы, 6 типа);

6) Выбор ГОСТа резьбы;

7) Далее следует выбор фрезы из ГОСТа. Задаётся диаметр фрезы из стандарта, ему соответствует определенное число зубьев. Проверяется условие, чтобы число зубьев было больше 2 для плавности фрезерования и получения заданной точности резьбы. Если условие не совпадает, берётся следующий диаметр фрезы из стандарта. После этого проверяется условие по длине резьбы и её шагу. Если условия не совпадают, то берётся следующий диаметр.

8) Если подходящего инструмента в стандарте нет, то ведётся проектирование. В начале, принимают ориентировочно наружный диаметр в зависимости от посадочного отверстия. Определяют длину рабочей части, число зубьев, задний угол, величину затылования, элемент канавки для выхода стружки, направление и угол наклона винтовой канавки, уточняют наружный диаметр, находят передний угол. Выбирают исполнительный размер профиля резьбы.

9) Формирование выходного документа с определенными параметрами инструмента.

В заключении следует отметить, что трудоёмкость конструкторско – технологической подготовки производства рассматриваемых резьбонарезных гребенчатых фрез значительно сокращается при использовании средств автоматизации. Качество инструмента при этом наоборот увеличивается. Предприятия, которые используют такое информационно-программное обеспечение, имеют более эффективное производство.

## ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ РЕЗЬБОНАРЕЗНЫХ ФРЕЗ

Беломытцев А.Н. – магистрант, Хоменко В.А. – д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

В настоящее время темпы развития машиностроительного производства существенно ускорились. В связи с этим количество производимых машин и механизмов стало увеличиваться, а их номенклатура расширяться. Кроме этого, происходит постоянное совершенствование конструкций изделий, а так же возрастание требований к надёжности и долговечности их работы.

В таком современном состоянии машиностроения всё более широкое применение находят резьбовые соединения, которые должны соответствовать необходимым параметрам качества: точности и шероховатости. Если получение резьбовых поверхностей невысоких степеней точности не вызывает особых проблем, то высокопроизводительное изготовление точных резьб с полем допуска  $4h/4H$  связано с возникновением технологических трудностей. Поэтому повышение точности резьбы является актуальной проблемой.

Можно выделить три основных метода получения резьбовых поверхностей:

1) механической обработкой, путём формообразования с помощью резания профиля резьбы на поверхности детали;

2) пластическим деформированием обрабатываемой поверхности детали, путём копирования на ней профиля резьбового инструмента;

3) получение резьб в процессе формирования заготовки.



Механическая обработка является универсальным методом получения резьбовых поверхностей. Её применяют при изготовлении резьб на различных деталях разных конструкций изделий, в то время как другие методы имеют ограниченную область применения. Механическая обработка позволяет получать резьбу 1 класса точности с полем допуска 4h/4H и параметром шероховатостью  $Ra=0,5-2$  мкм.

Одним из способов метода механической обработки, при котором достигается высокое качество резьбы, является резьбофрезерование. К его достоинствам относят: эффективность процесса резьбообразования и высокую стойкость инструмента. Эффективность этого способа достигается за счёт широкого фронта работы фрезы, высокой производительностью обработки (за  $1\frac{1}{4}$  оборота заготовки), одновременным нарезанием полного профиля резьбы и отсутствием обратных ходов, а также высокой скоростью резания. Следует отметить, что резьбофрезерование обеспечивает параметр шероховатости  $Ra=0,5-2,5$  мкм, что превосходит некоторые способы и методы резьбообразования. При этом среднее время работы одной фрезы составляет 200 минут.

Недостатком данного способа является средний класс точности изготавливаемой резьбовой поверхности с полями допусков 6g/8g для валов и 6H/7H для отверстий.

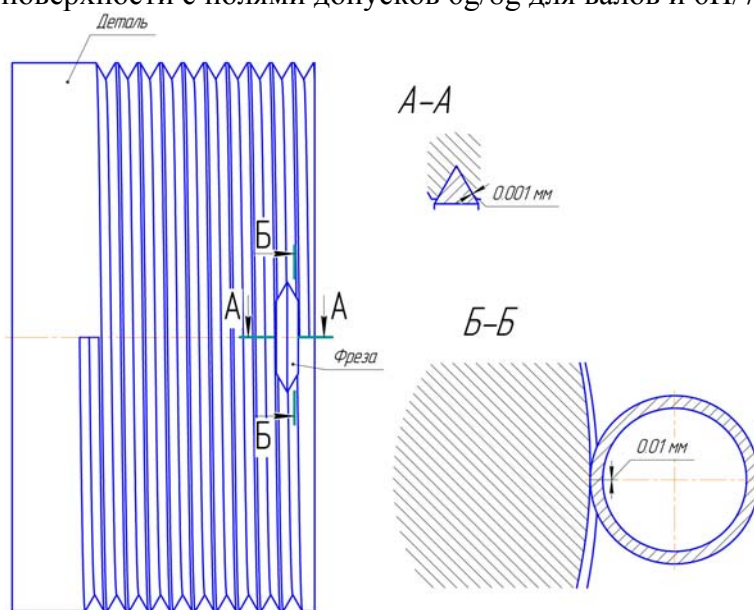


Рисунок 1 - отличие профиля резьбы фрезы и профиля резьбы детали.

Средний класс точности обусловлен отличием теоретического профиля резьбы фрезы и фактического профиля резьбы детали. Конструкция резьбонарезной фрезы представляют собой набор кольцевых витков, имеющих профиль нарезаемой резьбы, а формообразование резьба происходит по архимедовой спирали. В процессе фрезерования ось заготовки с винтовыми витками резьбы расположена параллельно оси фрезы с кольцевыми витками. При рассечении заготовки и фрезы плоскостями, перпендикулярными к их осям в сечениях получаем для фрезы - окружность, а для заготовки - архимедову спираль, поэтому точка контакта профилей заготовки и фрезы смещена от линии центра (рисунок 1).

Искажение в угле профиля получается в пределах 3-4' для наружной резьбы и 7-8' для внутренней. Для учёта этой погрешности целесообразно устанавливать допуски на угол профиля несимметрично, что связано с большой трудоёмкостью их расчёта. Поэтому на практике погрешностью обычно пренебрегают.

Для решения проблемы повышения точности резьбофрезерования необходимо снизить трудоёмкость расчётов, что достигается с помощью автоматизированного расчёта допусков на ЭВМ, поскольку используемые средства их нахождения поддаются математическому описанию.

Таким образом, резьбовые фрезы с скорректированным профилем резьбы можно применять для изготовления точных резьбовых поверхностей с полями допуска 4h для валов и 4H/5H для отверстий, а также шероховатостью в пределах  $Ra=0,5-2,5$  мкм.

## МЕХАНИЗМ ХРУПКОГО РАЗРУШЕНИЯ ПРИ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ С ИЗНОСОСТОЙКИМИ ПОКРЫТИЯМИ

Кениг Э.В. - магистрант, Мостовая Я.Г. - аспирант, Ситников А.А. - д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Нанесение покрытий из износостойких материалов на обрабатываемый инструмент, детали машин, пар трения позволяет многократно повысить уровень эксплуатационных характеристик. После нанесения поверхность детали имеет значительные отклонения формы и низкую шероховатость поверхности. Применение их в узлах трения без механической обработки невозможно. Наиболее распространенным методом является шлифование, которое позволяет обеспечить требуемые параметры качества при высокой производительности. Важным фактором, усложняющим этап проектирования операции обработки покрытий, является разрозненность и узкая область применения известных из научно-технической литературы рекомендаций по назначению характеристик инструмента и режимов резания. Проведение большого количества экспериментальных исследований неэффективно. Более целесообразно получение имитационной модели на базе изучения механизма хрупкого разрушения при обработке деталей с износостойкими покрытиями.

Известные исследования микрорельефа обработанного износостойкого покрытия показывают, что механизм формообразования поверхности покрытия при обработке сочетает в себе процессы резания-микроскалывания и объемного хрупкого разрушения. Внедрение единичного зерна инструмента в обрабатываемый износостойкий материал покрытия в области их взаимодействия сопровождается высокими напряжениями, приводящими к развитию микротрещин, находящихся в непосредственной близости дефектов строения покрытия (пор и различных включений).

Основываясь на известных результатах исследований распространения трещины в износостойком материале покрытия, сформулированы основные положения механизма хрупкого разрушения при взаимодействии инструмента и заготовки в процессе алмазно-абразивной обработки износостойких покрытий:

- сьем металла осуществляется в процессе развития микротрещин из дефектов его структуры;
- в процессе алмазно-абразивного шлифования при резании зерном происходит выкрашивание материала покрытия вблизи профиля зерна в пределах величины  $X_r$ , которая зависит от напряжений, возникающих в материале покрытия при его обработке (рисунок 1);

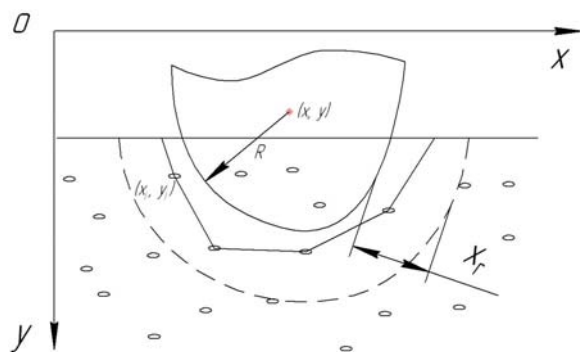


Рисунок 1 – Схема хрупкого разрушения при внедрении алмазного зерна в обрабатываемый материал покрытия

- линия роста микротрещины проходит от поры к поре, образуется развитый рельеф, состоящий из поверхностей расслоения частиц покрытия и хрупкого разрушения при развитии микротрещин из пор покрытия;

– сьем металла при обработке газотермических покрытий может превышать глубину резания вследствие распространения трещины в глубину покрытия.

Сформулированные положения о механизме хрупкого разрушения хорошо согласуются с результатами экспериментов, проведенными в среде COSMOSWorks. При расчете принимались следующие допущения:

- объемная задача сводилась к плоской – покрытие моделировалось пластиной фиксированной толщины с порами в форме эллипсов;
- рассматривался процесс резания единичным зерном;
- характер нагружения статический;
- физико-механические характеристики материала покрытия задавались модулем упругости и коэффициентом Пуассона.

Результаты моделирования показаны на рисунке 2. В расчетах напряжений в поверхностном слое покрытия в области контакта инструмента и заготовки по краям пор появились максимальные напряжения (показано красным цветом). Кроме этого, из рисунка 2 видно (показано зеленым цветом), что напряжения распространяются в радиальном направлении относительно центра внедряемого зерна на определенное расстояние.

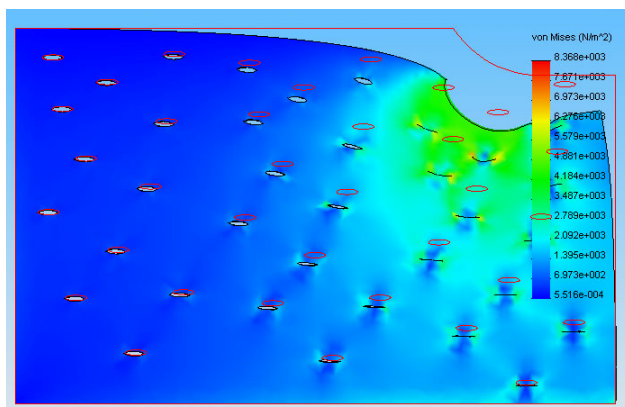


Рисунок 2 – Схемы распространения напряжения

Рассматриваемый механизм хрупкого разрушения при взаимодействии инструмента и детали с покрытием можно использовать при создании имитационной модели алмазно-абразивной обработки износостойких покрытий, для которой достаточно небольшого объема экспериментов и механизма формообразования поверхности.

## АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ, ОБРАБОТАННОЙ ТОЧЕНИЕМ

Дударев М.В. – магистрант, Савенков В.В. – магистрант,  
Леонов С.Л. – к.т.н., профессор, Некрасов В.Н. – к.т.н., инженер  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Рост сложности инженерных расчетов требует эффективных методов их решения. Широкое развитие и внедрение вычислительной техники открывает большие возможности для их автоматизации, что позволяет значительно сократить время, затрачиваемое на проектирование, и ведет к повышению экономической эффективности производства. Возможность поисковых расчетов на ЭВМ позволяет значительно повысить качество технологических решений.

В машиностроительном производстве около 40% формообразующих операций – точение. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин и их соединений неразрывно связано с обеспечением параметров состояния поверхностного слоя деталей. Эта проблема наиболее широко раскрыта в исследованиях Суслова А.Г.[1,2], где он де-

дает вывод, что в общем случае на образование шероховатости при точении оказывают влияние следующие факторы:

- 1) геометрия рабочей части инструмента (резца) и кинематика его рабочего движения относительно обрабатываемой поверхности;
- 2) колебательные перемещения инструмента относительно обрабатываемой поверхности;
- 3) упругие и пластические деформации обрабатываемого материала заготовки в зоне контакта с рабочим инструментом;
- 4) шероховатость рабочей части инструмента;
- 5) вырывы частиц обрабатываемого материала.

В зависимости от условий обработки степень влияния каждого из этих факторов на образование шероховатости поверхности будет различной. Первые четыре фактора вызывают образование систематической составляющей профиля шероховатости, которая может быть описана математически. Пятый фактор вызывает образование случайной составляющей профиля и определяет разброс или дисперсию параметров шероховатости.

Алгоритм расчёта каждой из составляющих заключается в следующем:

Геометрическая составляющая  $H_1$  зависит от геометрии резца, подачи и радиуса при вершине резца. Предлагается четыре варианта расчета, нужная формула выбирается в зависимости от значений главного и вспомогательного угла в плане.

Составляющая  $H_2$ , учитывающая колебательные перемещения инструмента относительно обрабатываемой поверхности зависит от заданных режимов резания и жесткости технологической системы.

Составляющая  $H_3$ , учитывающая упругие и пластические деформации обрабатываемого материала заготовки в зоне контакта с рабочим инструментом, зависит от геометрии резца.

Шероховатость рабочей части инструмента определяется параметрами сменной многогранной пластинки (СМП).

Нами разработана программа для расчёта систематической составляющей профиля шероховатости поверхности, обработанной точением резцом с СМП, по формулам, предложенным А.Г. Сусловым. Программа выполнена в среде Microsoft Excel. При помощи программы проведен расчет шероховатости заготовки  $R_z=50\text{мкм}$ , длиной  $L=300\text{ мм}$ , диаметром  $D=24\text{мм}$  из стали 40Х, резцом с твердосплавной пластинкой (Т15К6) с равными углами в плане  $\varphi = \varphi_1 = 45^\circ$ . Глубина резания  $t = 0,5\text{мм}$ . Частота вращения  $n = 1000\text{ об/мин}$ .

На рисунке 1 приведены результаты расчета составляющих высоты профиля в зависимости от изменения подачи (S).

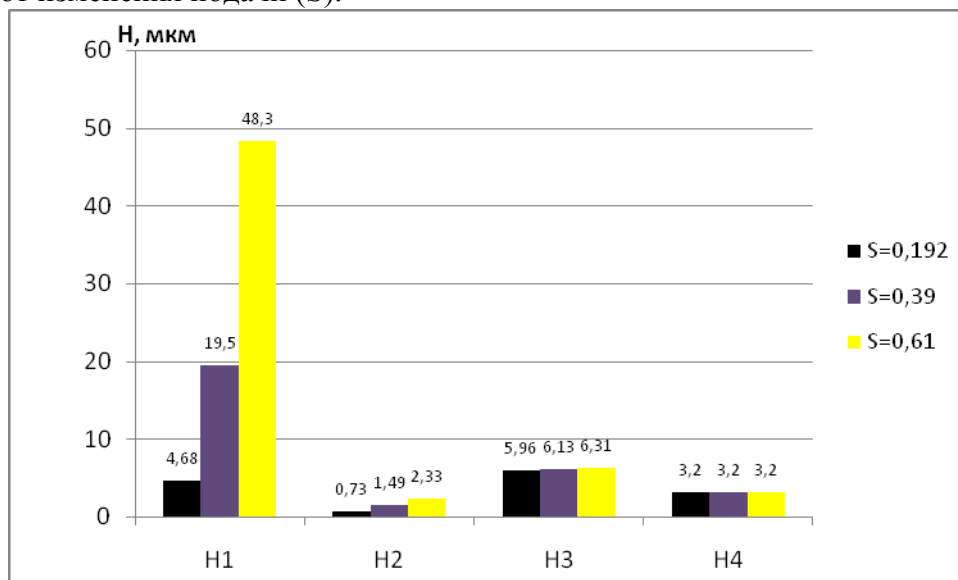


Рисунок 1 – зависимость составляющих шероховатости от изменения подачи.

Из полученных результатов расчета видно, что при увеличении подачи значительно изменяется составляющая шероховатости Н1, которая возникает в результате геометрического копирования.

На рисунке 2 приведены результаты расчета составляющих высоты профиля в зависимости от изменения главного ( $\phi$ ) и вспомогательного ( $\phi_1$ ) угла в плане. Глубина резания  $t = 0,5\text{мм}$ . Частота вращения  $n = 1000\text{ об/мин}$ . При значениях подачи:  $S = 0.192\text{ мм/об}$ . В первом случае углы в плане равны  $\phi = \phi_1 = 45^\circ$  а, во втором  $\phi = 85^\circ$ ,  $\phi_1 = 5^\circ$ .

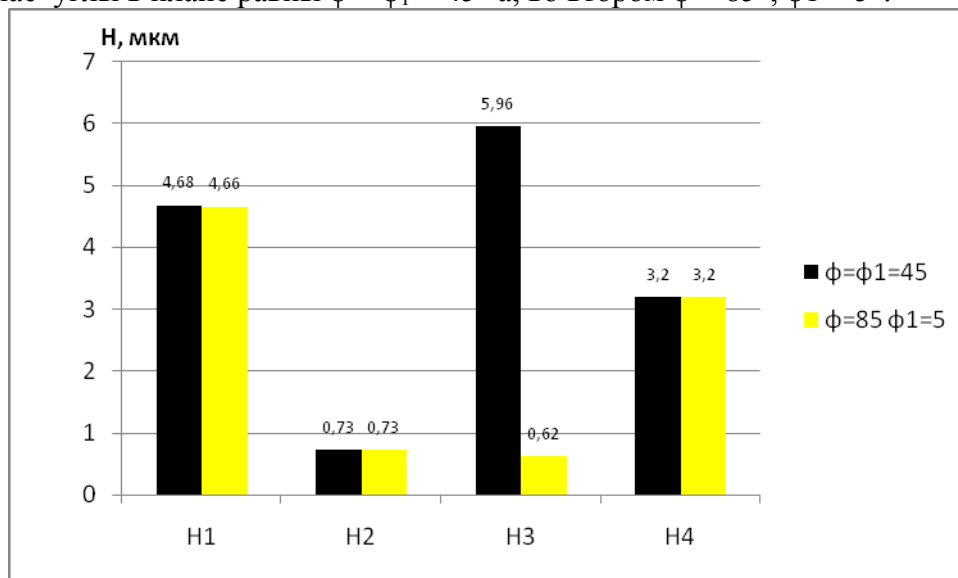


Рисунок 2 – зависимость составляющих шероховатости от изменения главного и вспомогательного углов в плане.

Из полученных результатов расчета видно, что при повороте пластинки значительно изменяется составляющая шероховатости Н3, на которую влияют упругие и пластические деформации обрабатываемого материала заготовки в зоне контакта с резцом.

На рисунке 3 приведены результаты расчета составляющих высоты профиля в зависимости от изменения скорости резания ( $V$ ). Глубина резания  $t = 0,5\text{мм}$ . При значении подачи:  $S = 0,192\text{мм/об}$ .

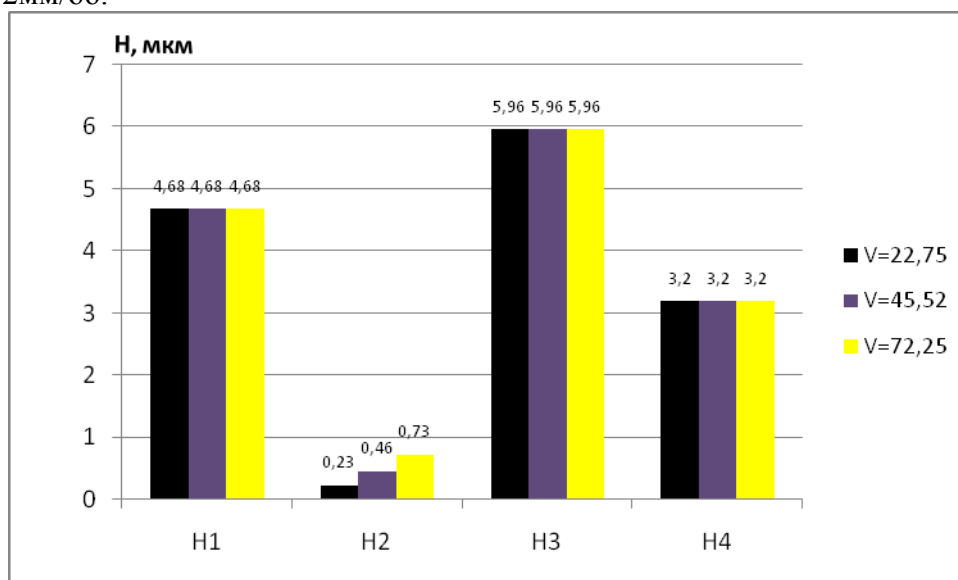


Рисунок 3 – зависимость составляющих шероховатости от изменения скорости резания.

Из полученных результатов расчета видно, что при увеличении скорости резания изменяется только составляющая шероховатости Н2, которая характеризует колебательные перемещения инструмента относительно обрабатываемой поверхности. Изменения незначительны.

При изменении параметров обработки на первый план могут выходить различные составляющие шероховатости, например при большой подаче значительно больше остальных составляющая, которая возникает в результате геометрического копирования, но при уменьшении подачи на первый план выходит составляющая, на которую влияют упругие и пластические деформации.

Из результатов последнего расчета результатов видно. Что при увеличении скорости резания, систематическая составляющая профиля шероховатости изменяется очень незначительно. Но практический опыт показывает, что общая шероховатость изменяется в заметных пределах. Из сказанного вытекает вывод: на шероховатость поверхности, большое влияние оказывают вырывы частиц обрабатываемого материала, то есть случайная составляющая профиля  $H5$ . Значит, она нуждается в более длительном и комплексном изучении, чем это представлено в современной литературе.

Литература:

1. Суслев, А.Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей. – М.: Машиностроение, 1987. –206, [2] с.
2. Научные основы технологии машиностроения / А.Г. Суслев, А.М. Дальский. – М.: Машиностроение, 2002. – 685 с.

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТОПОГРАФИИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ТОЧЕНИИ

Леонов С.Л. – к.т.н., профессор, Некрасов В.Н. - к.т.н.,  
Дударев М.В. - магистрант, Савенков В.В. - магистрант  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Около 40% операций по изготовлению типовых деталей машин это токарные: обтачивание валов, цилиндрической и конической формы, растачивание отверстий и многое другое. Большую популярность точение приобрело благодаря высокой производительности и точности. При точении на поверхности детали формируется шероховатость, которая зависит от материала инструмента и заготовки, геометрических параметров резца, свойств технологической системы, а также от режимов резания. Получаемая шероховатость определяет эксплуатационные свойства деталей машин, влияет на качество работы контактируемых поверхностей.

Микрогеометрия поверхности определяет следующие эксплуатационные свойства деталей и сборок:

1) контактная жесткость деталей машин [1] определяется геометрическими параметрами поверхности (макроотклонения, волнистость, шероховатость), взаимным расположением следов обработки, физико-механическими свойствами материалов контактирующих деталей и условий их работы. При расчете контактной жесткости учесть взаимное расположение следов обработки можно, только зная топографии контактирующих поверхностей, так как линейные параметры шероховатости не дадут полного представления о поверхностях.

2) коэффициент трения и износостойкости деталей машин определяются геометрическими параметрами (макроотклонения, волнистость, шероховатость); степенью упрочнения; поверхностными остаточными напряжениями; физико-механическими свойствами материалов контактирующих деталей; условиями их работы (нагрузки, скорости скольжения, температуры, смазки). С помощью топографии можно определять геометрические параметры поверхностей деталей машин.

3) на герметичность соединений влияют физико-механические свойства материалов, состояние контактирующих поверхностей, расположение следов обработки: параметры шероховатости  $R_a$ ; волнистости  $W_p$ ; макроотклонения  $H_p$  и степень упрочнения. С помощью топографии можно рассчитывать режимы резания с учетом заданного состояния контактирующих поверхностей и необходимого расположения следов обработки.

4) при напылении покрытий прочность сцепления определяется с одной стороны толщиной покрытия, а с другой – площадью зоны контакта между основой и напыленным материалом [2]. Для повышения площади контакта поверхность основы делают шероховатой за счет дополнительной механической обработки. Однако шероховатость неоднозначно влияет на прочность сцепления: при больших значениях высотных параметров шероховатости прочность сцепления с основой снижается. Связано это с тем, что при больших значениях параметра  $Rz$  частицы покрытия могут не проникнуть до дна рисок шероховатости. Это создает поры у поверхности основы, снижает площадь контакта основы с покрытием и может привести к его отслаиванию при обработке или эксплуатации. При напылении покрытий, зная топографию поверхности, можно рассчитать необходимый объем напыляемого материала, площадь контакта напыления с основой. Также топография поверхности необходима для проектирования режимов резания.

Из выше сказанного можно сделать вывод, что параметров шероховатости, которые определяются по ГОСТ2789-73, в некоторых случаях может оказаться недостаточно для описания эксплуатационных свойств поверхностей деталей, поэтому для описания поверхности необходимо рассматривать ее топографию.

Большое влияние на микронеровности поверхности оказывает геометрия инструмента: главный угол в плане  $\varphi$ , вспомогательный угол в плане  $\varphi_1$ , радиус при вершине  $r$  и подача  $S$ . В своих работах А. Г. Сулов [1] приводит аналитические зависимости влияния высоты микронеровностей от величины углов  $\varphi, \varphi_1$ , радиуса при вершине резца  $r$  и подачи  $S$ . Но данные аналитические зависимости не обеспечивают требуемую точность расчетов, также с их помощью можно получить только высоту микронеровностей, но нельзя рассчитать параметры шероховатости  $Ra, Rz$  и др. Их невозможно использовать при использовании сложного фасонного профиля инструмента. С учетом геометрии инструмента, при наружном точении получается поверхность, показанная на рисунке 1.

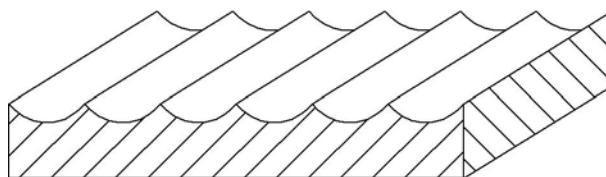


Рисунок 1 – Фрагмент поверхности

Топографию поверхности при точении можно представить как массив профилей поверхности, измеренных от одного базового сечения с заданным шагом по углу. Профиль детали формируется в зависимости от геометрии инструмента. Топографические параметры шероховатости, по аналогии с ГОСТ2789-73, рассчитываются по формулам, представленным в таблице 1.

Таблица 1 – Формулы для расчета шероховатости

по ГОСТ 2789-73	Топографические Параметры
Средняя линия профиля $w = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m y_i$	Средняя поверхность $w^T = \frac{1}{n \cdot m} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n y_{ij}$
Среднее арифметическое отклонение профиля $R_a = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m  y_i - w $	Среднее арифметическое отклонение поверхности $R_a^T = \frac{1}{n \cdot m} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n  y_{ij} - w^T $
Наибольшая высота профиля $R_{\max} = Y_{\max} - Y_{\min}$	Наибольшая высота поверхности $R_{\max}^T = Y_{\max} - Y_{\min}$
Относительная опорная длина профиля $tp = \frac{\sum_{i=1}^n b_i}{l}$	Относительная опорная площадь поверхности $tp^T = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{S}$

Для расчета топографии поверхности, с учетом геометрии инструмента, была составлена программа в среде MS EXCEL. Структура программы показана на рисунке 2. Исходными данными являются: геометрия инструмента ( $\varphi, \varphi_1, r$ ) и подача  $S$ .

Так как геометрические параметры инструмента являются случайными (допуски на изготовление инструмента, погрешности базирования пластинки в державке, погрешности базирования державки на станке, а также погрешности динамики) в программе были учтены колебания геометрии резца с учетом выше перечисленных факторов.

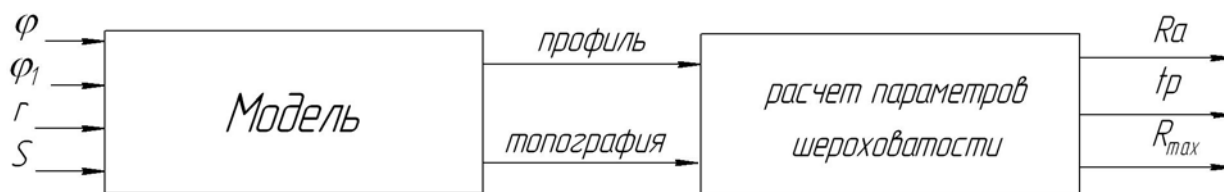


Рисунок 2 – Модель расчета параметров шероховатости

Результатом расчета программы является несколько прямоугольных таблиц, описывающих различную топографию поверхности при геометрическом копировании. В строках таблицы указываются значения высот профиля в поперечном сечении с заданным шагом по углу, а в столбцах значения в продольном сечении с заданным шагом в миллиметрах. Фрагмент программы для расчета топографии поверхности показан на рисунке 3.



	A	B	C	D	E	F	G
1							
2	фи=	50	шаг=	0,005			
3	фи1=	25	риски=	3			
4	r=	1					
5	s=	0,5					
6	альфа	25					
7	h=	0,031754					
8	шаг	1					
9		0	1	2	3	4	5
10	0	0,031754	0,031397	0,0310412	0,030688	0,030337	0,029987631
11	0,005	0,030477	0,030127	0,0297792	0,029434	0,02909	0,028748461
12	0,01	0,029227	0,028885	0,0285446	0,028206	0,02787	0,027536578
13	0,015	0,028005	0,02767	0,0273372	0,027007	0,026678	0,026351879
14	0,02	0,026809	0,026482	0,0261571	0,025834	0,025513	0,025194266
15	0,025	0,025641	0,025322	0,025004	0,024688	0,024375	0,024063642
16	0,03	0,0245	0,024188	0,0238778	0,02357	0,023264	0,022959914
17	0,035	0,023386	0,023081	0,0227786	0,022478	0,022179	0,02188299
18	0,04	0,022299	0,022001	0,0217061	0,021413	0,021122	0,020832782
19	0,045	0,021238	0,020948	0,0206603	0,020375	0,020091	0,019809204
20	0,05	0,020204	0,019922	0,0196412	0,019363	0,019086	0,018812173
21	0,055	0,019197	0,018922	0,0186486	0,018378	0,018109	0,017841607
22	0,06	0,018216	0,017948	0,0176824	0,017419	0,017157	0,01689743
23	0,065	0,017261	0,017001	0,0167426	0,016486	0,016232	0,015979564

Рисунок 3 – Фрагмент программы

Изучение топографии поверхности является важным направлением в описании поверхности деталей, так как это позволит прогнозировать эксплуатационные свойства обрабатываемых поверхностей, проектировать инструмент, геометрические параметры, которого будут обеспечивать заданную топографию поверхности.

С помощью предложенной программы можно рассчитывать не только топографические параметры шероховатости, но и шероховатость по ГОСТ2789-73. Также с помощью программы, возможно, рассчитать разброс параметров шероховатости при заданной геометрии инструмента, тем самым, спрогнозировав вероятность появления брака по параметрам шероховатости.

#### Литература:

1. Сулов А.Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей. – М.: Машиностроение, 1987. – 208 с.
2. Леонов С. Л. Использование топографии поверхности для обеспечения эксплуатационных свойств деталей с покрытиями. «Обработка металлов. 2007. №4 стр. 4 – 7».

## АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ БЫСТРОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

Белокрылов И.А. – студент, Гончаров В.Д. – к.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Последние десятилетия прошлого века предоставили немало доказательств тому, что мы вступили в век технологий. В связи с возрастающими потребностями человека в новых материалах и более дешевой и качественной продукции технологии являются одним из важнейших показателей промышленного и экономического развития общества. Сегодня уровень всего индустриального производства в различных странах и их научно-технический потенциал с большой долей достоверности можно оценивать исходя из того, в каких масштабах и в каких отраслях экономики там применяются высокие интегрированные технологии.

Применительно к технологии машиностроения существует ряд нетрадиционных технологий, включающих в себя обширную научно-информационную базу в сочетании с возможностями вычислительной техники. Нетрадиционными эти технологии

названы потому что редко применяются практически, хотя по своим показателям являются очень перспективными.

Далее будут охарактеризованы наиболее перспективные для машиностроения методы ускоренного прототипирования и изготовления, в основе которых лежат прогрессивные научно-технические разработки последних лет.

### **3D-CAD-моделирование.**

3D-CAD – 3-Dimension Computer-Aided Drafting (Design) – можно трактовать как "Трехмерное автоматизированное проектирование". Создание CAD-моделей, а также подготовка к дальнейшему использованию требует основной части времени, затрачиваемого при RP процессах. Чаще всего первоначальная модель представлена как некоторое геометрическое твердое тело. С помощью CAD-систем описывается геометрия детали для ее дальнейшей математической обработки с помощью треугольной аппроксимации (триангуляции) и затем это описание переводится в стандартный формат STL. Далее STL-данные раскладываются на отдельные сечения с малой высотой (шагом)  $h = 0,1 - 0,2$  мм.

### **Способ стереолитографии – Stereolithography (SL)**

При SL геометрическое воспроизводство детали осуществляется послойно дисперсионным отверждением жидкого фотополимера с помощью UV лазера (фотополимеризация). Обычные толщины слоя составляют 0,05 до 0,2 мм. Луч лазера, управляемый компьютером, проходит по поверхности жидкого полимера, «сканируя» ее часть в соответствии с конфигурацией первого слоя изделия (рисунок 1). Происходит дисперсионное отверждение этого слоя жидкого фотополимера. Полимеризация инициируется лазерным излучением или излучением ртутных и люминесцентных ламп. Эти излучения в жидкой реакционно-способной среде порождают активные центры (радикалы, ионы, активированные комплексы), которые при взаимодействии с молекулами мономера вызывают рост полимерных цепей, ведущий к фазовому изменению облученной среды - отверждению. После этого платформа носителя опускается на величину, равную толщине твердого слоя. Так последовательно происходит воссоздание трехмерной геометрии конструктивного элемента. SL - метод не только точнейший и самый известный RP-метод, но и наиболее распространенный в мире. 50% всех RP-устройств приходится на стереолитографию. Типичными примерами для способа SL являются корпусные детали. Сложные тонкостенные изделия изготавливаются с высокой точностью и качеством.

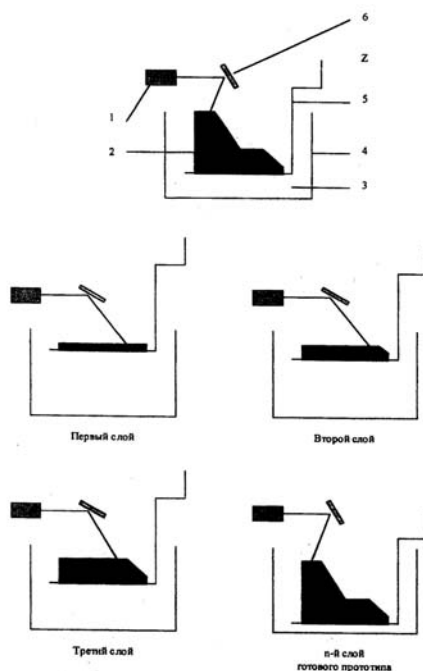


Рисунок 1 – Схема получения трехмерной твердотельной модели послойным наращиванием по способу стереолитографии:

1 -лазер; 2- изделие; 3- жидкий полимер; 4- ванна; 5-подвижная платформа; 6- зеркало, управляющее сканированием.

Например, на предприятии АНТК «Антонов» SL – методом получают прототип воздухозаборника для дальнейших испытаний в аэродинамической трубе; изготавливают модель корпуса двигателя внутреннего сгорания, а затем, методом литья по выжигаемым моделям с ее помощью получают рабочий корпус из нужного материала. На предприятии ООО НПП «Агромашинвест» метод используют при изготовлении трактора Farmer, на ОАО «АВТАМАТ» получают оснастку для литья поршней под низким давлением, Дергачевский завод турбокомпрессоров успешно использует метод для получения прототипов крыльчатки турбокомпрессора; так же метод SL применяется при изготовлении моделей для ювелирной промышленности. SL – метод очень перспективен для деталей, получаемых литьем, так как получаемая прессформа может обеспечить необходимые технические требования детали без ее последующей механической обработки.

### **Избирательное лазерное спекание – Selectiv Laser Sintering (SLS)**

Исходный, материал - порошкообразные полиамиды, поликарбонаты, полистирол, сплавы никеля и бронзы, стали и др (рисунок 2). Подобно жидкому полимеру (способ SL) порошок заполняет ванну или послойно наносится на подвижную платформу. Луч  $CO_2$  -лазера сканирует поверхность порошка в соответствии с конфигурацией первого сечения и обуславливает локальное избирательное спекание порошковой массы. Исходный материал послойно в виде порошковой массы при помощи сглаживающих роликов наносится на платформу носителя. Управляемый от сканера луч лазера шлакует (локально расплавляет) порошок в прилежащих к построенной структуре областях. Близлежащий порошок принимает при этом заданную форму детали. Производство геометрии детали происходит послойно. Платформа носителя циклично движется вниз. После окончания изготовления последнего слоя изымается конструктивный элемент (КЭ) и подвергается специфичной применительно к нему обработке.

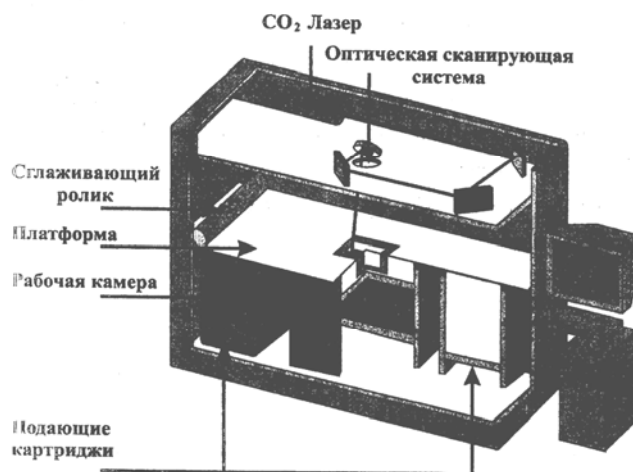


Рисунок 2 – Избирательное лазерное спекание (SLS)

Избирательное лазерное спекание используется производителями радиоэлектронной промышленности, например, для производства сотовых и стационарных телефонных аппаратов или корпусов электротехнических приборов; так же применяется при изготовлении вентиляторов, канистр (Днепропетровский завод технологической оснастки), штурвалов самолетов, корпусных деталей для нефтяных насосов, радиаторных решеток автомобиля «Нива-Шевроле», и т.д.

SLS – метод в целом похож на SL, но позволяет получать модели из большого разнообразия материалов, то есть можно получать уже готовые детали без использования таких ме-

тодов как литье в пресс-формы или по выплавляемым моделям. Метод перспективен также для изготовления самих пресс-форм.

### Изготовление слоистых моделей – Laminated Object Manufacturing (LOM)

При LOM конструктивные элементы вырезаются один за другим из отдельных листов клейкой бумаги или фольги (листовой) из металла, керамики, композитов и соединяются вдоль срезов при помощи лазера (рисунок 3). Исходные данные рассчитываются для каждого слоя в 3D формате САД данных о конструкции и передаются на лазер. В вертикальном направлении платформы носителя накладывают друг на друга и прижимают отдельные листы фольги. Луч лазера проникает только на определенную глубину. Точное фокусирование луча лазера и управление от САД гарантирует, что будет вырезаться слой только на определенную глубину. Не принадлежащие области продукта части листов бумаги или фольги разрезаются на прямоугольники, чтобы их легче можно было удалить. Модель образуется послойным наращиванием отдельных листов (слоев), в результате чего возникает точная трехмерная модель. После окончания формообразования КЭ нужно удалить не принадлежащие к области детали площади. Полученную поверхность нужно дорабатывать соответственно требованиям вручную. Данная технология имеет значительные ограничения по параметрам формообразования и отличается низким качеством поверхности (шероховатость  $R_a=20\dots35$  мкм)

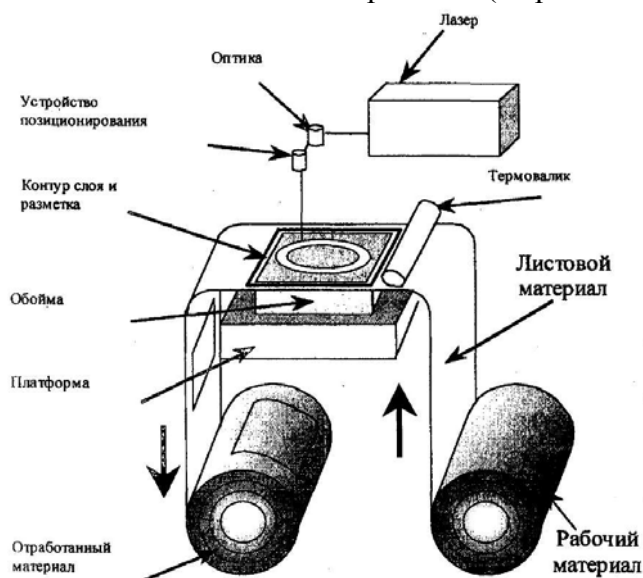


Рисунок 3 – Получение модели наращиванием слоистого материала

Литейные формы, построенные этим способом, могут использоваться для деталей из термопластов с низкой температурой плавления, и не применимы для вакуумного литья и литья под давлением. В настоящее время разрабатываются специальные материалы, способные значительно повысить адгезионные процессы схватывания между слоями.

### Способ многофазного отверждения струи – Multiphase Jet Solidification (MJS)

Обрабатываемый материал греется в камере растапливания до температуры плавления и пропускается через форсунку. Управление температурой согласовано при этом так, чтобы расплавленный материал покрывал поверхность необходимым слоем. Принцип работы MJS-способа представлен на рисунке 4.

Способ основан на образовании слоя посредством системы форсунки, распределяющей растапливаемый материал по поверхности. Есть сходство с FDM способом. Существенное различие - подача исходного материала и сам исходный материал.

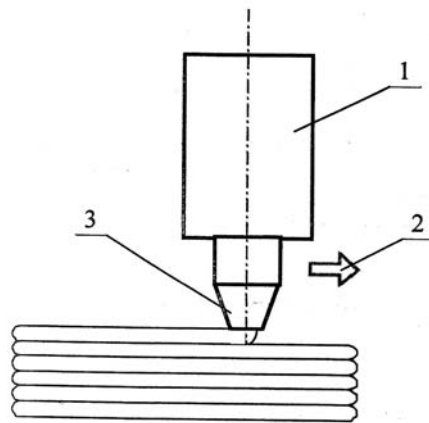


Рисунок 4 – Схематическое изображение MJS-способа:

1 - растапливающая камера, 2- движение, 3- сменная система форсунки

При MJS - способе прототипы КЭ изготавливаются из низкоплавких металлических сплавов, а также из высококачественной стали, титана, керамики вследствие обработки порошкообразных смесей. В каждом случае обрабатываемый материал нагревается до температуры, близкой к температуре ликвации, и, управляемый компьютером, через форсунку выпивается. Материал застывает в течение нескольких секунд.

Когда материал еще горячий, он растапливает (разогревает) поверхность предыдущего слоя и, таким образом, осуществляется неразъемное соединение его слоев.

При изготовлении КЭ из низкоплавких материалов продуктом можно пользоваться сразу. При обработке порошкообразных материалов при выемке КЭ его еще необходимо дополнительно обрабатывать. Обработка порошкообразных материалов находит применение при использовании высокоплавких сплавов и керамических материалов (температура плавления 1300°C).

### Формирование с помощью лазерной инженерной сети – Laser Engineering Net Shaping (LENS)

Способ базируется на подаче через сопло на подложку порошка и одновременном его оплавлении лучом лазера (рисунке 5).

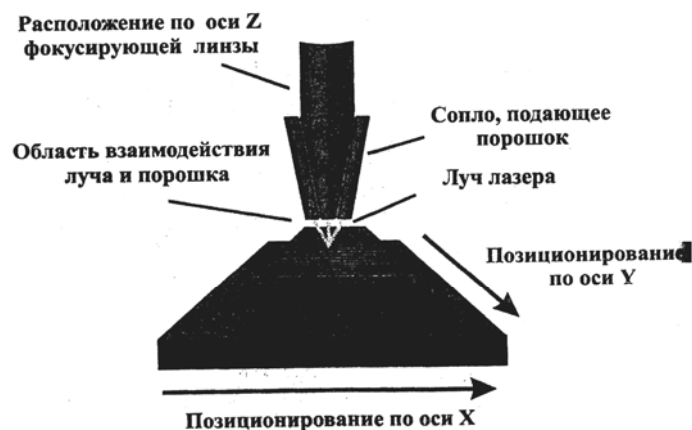


Рисунок 5 – Схематическое изображение LENS способа

Сопло с порошком может быть по одну сторону с подложкой или коаксиально с лазерным лучом. Крепление с предыдущим слоем облегчается тем, что струя порошка оплавляется лучом лазера, подогревающим одновременно и предыдущий слой.

### Литература

1. Рабочие процессы высоких технологий в машиностроении: учебн. пособие / под ред. А. И. Грабченко. – Харьков, НТУ «ХПИ», 1999, 436 с.

2. Интегрированные технологии ускоренного прототипирования и изготовления: / под ред. Л. Л. ТОВАЖНЯНСКОГО. – Харьков, НТУ «ХПИ», 2002, 139 с.
3. Белянин П. И. Состояние и перспективы технологий прямого выращивания деталей машин // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 1994. - №6. – С. 3-14.
4. Васильев В.А. Литье по полимерным выжигаемым моделям // Литейное производство. - №7. – 1999. - С. 16-18.

## АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СВ-СИНТЕЗА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ПОРИСТЫХ ИЗДЕЛИЙ

Полубинский В.Н., Коржов Д.В. – студенты, Гончаров В.Д. – к.т.н., профессор.  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) – это разновидность горения, в котором образуются ценные в практическом отношении твердые вещества (материалы).

Развитие работ по СВ-синтезу основано на научном открытии советских ученых А.Г. Мержанова, В.М. Шкиро и И.П. Боровинской.

Обычное горение представляет собой химическую реакцию кислорода с веществом, в результате которой образуются неконденсированные, газообразные продукты. Характерной же особенностью реакций СВС является то, что в них все исходные компоненты и конечные продукты горения представляют собой твердые вещества (полностью или преимущественно). Иными словами, реакция в исходной смеси некоторых твердых веществ, после локального инициирования коротким тепловым воздействием, способна протекать в форме волны горения (с высоким тепловыделением и саморазогреванием), образуя конечные твердые продукты. Такой процесс может быть полностью твердофазным, т.е. протекать без всякого газовойделения или образования расплавов, что и позволило назвать этот тип горения «твердым пламенем».

«Твёрдопламенное горение» реализуется только в системах с высокой экзотермичностью (выделением теплоты в результате реакции), т.к. высокие скорости твердофазных реакций (необходимые для распространения процесса) требуют обеспечения высоких температур системы в целом. Кроме того, очень важно, что получаемые в таком процессе продукты, остающиеся твердыми при высоких температурах, естественно, имеют очень высокие огнестойкие характеристики.

Открытие явления твердого пламени позволило сразу развить новый метод получения огнеупорных и термостойких материалов: энергия необходимая для образования требуемых химических связей, обеспечивается тепловыделением реакции между реагирующими компонентами.

Метод СВС позволяет непосредственно получать многие требуемые продукты с заданной структурой. Основные параметры продуктов (соотношение и относительное расположение фазовых составляющих, размер кристаллических зерен, распределение примесей, пористость и т.п.) могут изменяться в очень широких пределах при варьировании условий проведения процесса.

Методом СВС получают порошки, спекаемую керамику, пористые и литые изделия, поликристаллические литые материалы, пленки, волокна, композиты и т.п. Как правило, структурная прочность СВС-материалов (т.е. прочность, обусловленная заданной структурой) выше, чем у аналогов, получаемых обычными методами, что объясняется меньшим содержанием примесей, которые обычно концентрируются вдоль границ зерен и ослабляют сцепление между зернами кристаллической структуры.

На базе СВС создано шесть основных типов технологий:

- реакторная (материалы, порошки)
- СВС - спекание (изделия с обычной и повышенной пористостью)

- производство компактированных материалов (непористые материалы и покрытия)
- СВС – сварка (сверхпрочное соединение деталей)
- газотранспортная СВС – технология (тонкие покрытия, порошки)

Во всех этих производствах используется один и тот же научно-технический принцип – саморазогревание материала за счет экзотермической реакции вместо обычного внешнего нагрева. Это дает огромные преимущества, включая экономию энергии, отсутствие сложного оборудования, увеличение производительности и т.п.

Технология СВС применяется при производстве пористых изделий благодаря уникальным свойствам синтезируемого материала и относительной доступности используемого оборудования.

Однако, высокая стоимость исходных реагентов, сдерживает промышленное производство пористых изделий.

Рисунок 1 – Номенклатура выпускаемых изделий



Выпуск пористых изделий экономически целесообразен в тех случаях, когда их нельзя заменить другими, например в эксплуатации при повышенных до 1000 °С температурах, а так же когда пористое изделие имеет сложную форму. К таким изделиям можно отнести: металлокерамические трубчатые фильтры, пористые газораспределители в форме диска, пористые газопроницаемые покрытия.

Неполная номенклатура выпускаемых изделий представлена на рисунке 1.

Существует ряд факторов, которые влияют на процесс синтеза, а значит, и на параметры готовых изделий: дисперсность исходных порошков, удельная поверхность, газонасыщенность, химический состав и др.

Использование исходных материалов и технологических режимов с заданными параметрами в узком интервале значений обеспечивает получение методом СВС изделий с прогнозируемыми свойствами и характеристиками.

Анализируя возможности технологии СВС, необходимо сказать о научных достижениях ученых АлтГТУ, которые разработали новые составы шихты с применением порошков из отходов (окалины) высоколегированных сталей, применили дешевые порошки оксида железа для получения фильтрующих элементов для очистки выхлопных газов дизельных двигателей и изготовления катализаторов для ДВС.

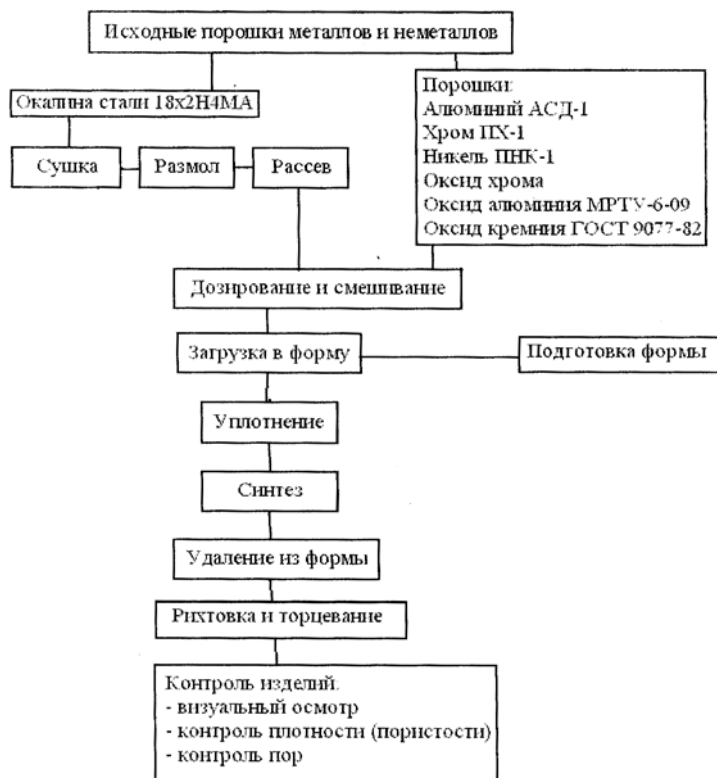
Фильтры, полученные с применением СВС - технологии, обладают преимуществами пористых керамических фильтров, но более технологичны.

Их изготовление является безотходным, ресурсосберегающим.

Концепция обобщенной технологии производства СВС-материалов развита В.В. Евстигнеевым, В.М. Вольпе, Д.А. Гарколем и основана на том, что после прохождения синтеза образуется готовое изделие из отходов производства: оксидов железа, меди, чугуна, алюминия и др.

Пористые фильтрующие СВС - материалы имеют ряд особенностей, отличающих их от других материалов. Средний размер пор в них определяется составом шихты и технологией изготовления, существуют некоторая упорядоченность пор, поперечных стенке фильтров, направления пор и различная извилистость последних. Эти параметры регулируются составом шихты и технологическими процессами ее подготовки и горения.

Рисунок 2 – Схема технологии изготовления пористых проницаемых изделий методом СВС



Основные стадии процесса (см. рисунок 2):

измельчение исходных материалов, рассев порошков, подготовка шихты (включая подбор и дозировку компонентов), проведение синтеза и доработка изделия.

Определяющими свойствами СВС – фильтров на основе порошков окалины железа являются: средний размер пор и механическая прочность при сжатии и изгибе (см. рисунок 3, 4).

Рисунок 3 – Гистограмма распределения пор по размерам

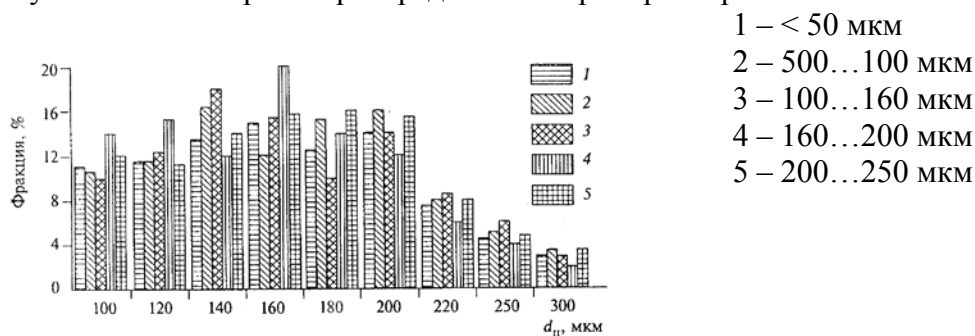
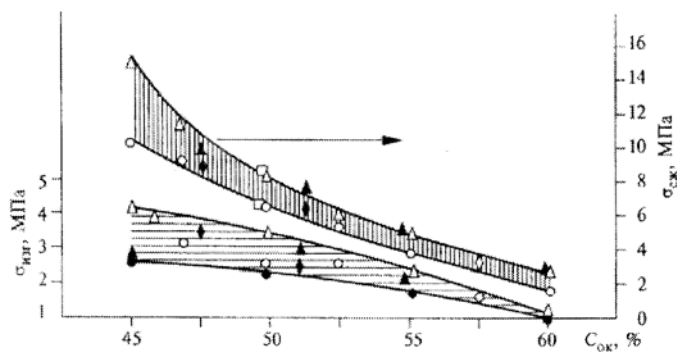


Рисунок 4 – Зависимость механической прочности СВС – материалов от концентрации окалины стали в шихте





## Литература

1. Мержанов А.Г. СВС – технология XXI века // – Черноголовка, ИСМАН, 2005, 200 с., 44 ил.
2. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез: Материалы и технологии. // под редакцией В.В. Евстигнеева, В.М. Белова – Новосибирск: Наука, 2001. – 284 с.
3. Новоселов А.Л., Пролубников В.И., Тубалов Н.П. Совершенствование очистки отработавших газов дизелей на основе СВС-материалов. – Новосибирск: Наука, 2002. – 96 с.
4. Интегральные технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза / В.В. Евстигнеев, Б.М. Вольпе, И.В. Милюкова и др. – М.: Высш.шк., 1996. – 274 с.