

## МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 67.05

### СТЕПЕНЬ СЛОЖНОСТИ КАК УНИВЕРСАЛЬНЫЙ КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ ИЗДЕЛИЙ И РАБОТ

**Е.В. БРИТИК, А.В. СИДИКЕВИЧ**

(Представлено: д-р техн. наук, проф. Н.Н. ПОПОК)

*Рассматривается возможность оценки степени сложности изделий, а также разработки для них документации на примере машиностроительных и смежных отраслей. Сделан вывод о необходимости определения технического и экономического потенциала предприятия с точки зрения выпускаемой в настоящее время продукции.*

Переход предприятий машиностроения на освоение и выпуск новой продукции – одна из актуальных в настоящее время задач. При этом наименование и номенклатура принимаемой к освоению продукции часто не совпадают с продукцией выпускаемой производством. Требуется экспертная оценка не только технических возможностей предприятия, но и экономических затрат на производство новой продукции. В этом случае возникает необходимость определения технического и экономического потенциала предприятия по предлагаемой методике оценки новой продукции в сопоставлении с продукцией, выпускаемой предприятием сегодня [1]. При этом оценивается целесообразность экономических расходов при внедрении современного оборудования с ЧПУ, инструментов с МНП, технологической оснастки, построенной по блочно-модульному принципу, применения многослойных покрытий и т.д.

Попытки создать на стадиях технического предложения систему приводит к появлению в ней различных постоянных и изменяющихся признаков, степень влияния и ранжирование которых порой сложно определить [2]. Наличие неопределенности ведет к принципиально неустранимой ни при каких условиях неточности при установлении затрат труда. Как правило, величина затрат труда может быть указана лишь в пределах какого-то интервала, иногда весьма большого для предприятия.

Таким образом, для перехода предприятия на изготовление новой продукции в рамках своего производства или организации нового необходимо разрабатывать бизнес-план или производить моделирование затрат на выпускаемую и новую продукции. Одним из функциональных показателей этой модели может быть принята степень сложности изделия и его структурных составляющих. Согласно [3], сложность какой-либо конструкции является мерой разнородности входящих в нее элементов.

Необходимость оценки целесообразности освоения и выпуска новых изделий с точки зрения технологических возможностей производства, а также потребность в систематизации и создании классификации сложных изделий и методов их формообразования ввиду их многообразия обуславливает более широкое введение в теорию и практику машиностроения показателя (признака) степени сложности производственных систем, изделий и составляющих их элементов, методов формообразования поверхностей деталей и методики ее количественной оценки. Рассмотрим примеры применения этого показателя в различных отраслях промышленности.

В [4] степень сложности является критерием оценки нормы времени, рекомендуется для нормирования труда специалистов, выполняющих работы по технической защите информации. Степень сложности работ для защиты объекта информатизации ранжируется как по вертикальному уровню, так и по горизонтальному. При расчете откорректированных норм времени на выполнение работы с использованием поправочных коэффициентов на отдельных стадиях используются следующие формулы:

$$T_{\text{кпр}} = K_{\text{пр}1} \cdot K_{\text{пр}2} \cdot K_{\text{пр}3} \cdot \dots \cdot K_{\text{пр}i} \cdot T_{\text{пр}};$$

$$T_{\text{кос}} = K_{\text{ос}1} \cdot K_{\text{ос}2} \cdot K_{\text{ос}3} \cdot \dots \cdot K_{\text{ос}i} \cdot T_{\text{ос}};$$

$$T_{\text{кзк}} = K_{\text{зк}1} \cdot K_{\text{зк}2} \cdot K_{\text{зк}3} \cdot \dots \cdot K_{\text{зк}i} \cdot T_{\text{зк}},$$

где  $T_{\text{кпр}}$ ,  $T_{\text{кос}}$ ,  $T_{\text{кзк}}$  – откорректированные нормы времени на выполнение работы на предварительной, основной и заключительной стадиях соответственно;  $K_{\text{пр}}$ ,  $K_{\text{ос}}$ ,  $K_{\text{зк}}$  – поправочные коэффициенты, применяемые при расчете норм времени на выполнение работы на соответствующей стадии.

Поправочные коэффициенты  $K_{\text{пр}}$ ,  $K_{\text{ос}}$ ,  $K_{\text{зк}}$  учитывают влияние на трудоемкость разработки таких факторов, как: степень новизны выполняемых работ; степень сложности выполняемых работ; вид информации, используемой при выполнении работ; вид исполнения технических средств; вид операцион-

ной системы технического средства; язык программирования, на котором разработан тест или требуется разработать тест для выполнения работ; объем работ, то есть количество технических средств, с которыми необходимо провести работы; срочность выполнения работ.

В [5] приведены методические рекомендации по применению государственных элементных сметных норм на пусконаладочные работы – определяют порядок применения сборников государственных элементных сметных норм на пусконаладочные работы на вводимых в эксплуатацию строящихся, реконструируемых, расширяемых и технически перевооружаемых предприятиях зданиях и сооружениях. В этой работе понятие «сложность» вводится при дополнительных затратах, связанных со снижением производительности труда пусконаладочного персонала при температуре воздуха на рабочем месте ниже 0 °С. Поправочные коэффициенты учитывают такие факторы, как условия производства работ в зависимости от вида предприятия, объем работ, количество и уровень исполнителей.

В [6] представлено методическое руководство «Технологические правила проектирования объектов строительства», содержащее рекомендации по организации и технологии проектирования, подготовленные в развитие положений международных стандартов качества серии ИСО 9000 и соответствующих государственных стандартов Российской Федерации, а также требований СНиП 11-01-95, РДС 11-201-95 и др. В этом документе сложность является критерием оценки эффективности проектного производства и определяет уровень трудоемкости при проектировании типовых и новых технологических процессов проектирования. Поправочные коэффициенты учитывают такие факторы, как условия производства работ в зависимости от вида предприятия, объем работ, уровень организации.

Для определения цен в [7] использован метод удельных показателей. При этом исходные базовые цены ориентированы на впервые разрабатываемые системы управления технологическими процессами (АСУТП) с учетом «базовых» факторов и условий их создания. Условная единица измерения степени научно-технической новизны и сложности технологической сложности (с точки зрения управления) технологического объекта управления (ТОУ) им представляет собой комплексный (интегральный) показатель, определяемый 4-мя факторами, характеризующими ТОУ, такими как: степень научно-технической новизны ТОУ; характер протекания управляемого технологического процесса во времени; количество технологических операций, выполняемых на ТОУ; информационная мощность ТОУ.

Здесь относительная стоимость отдельных видов работ при разработке технической документации на АСУТП силами одной организации устанавливается этой организацией в зависимости от трудоемкости выполняемых работ.

Например, цена разработки технического задания определяется по формуле:

$$C_{тз} = 44,16 \cdot C \cdot K,$$

где 44,16 – цена индекса новизны и технологической сложности технологического объекта управления тыс. руб.;  $C$  – степень новизны и технологической сложности технологического объекта управления, выраженная в ИНС;  $K$  – общий поправочный коэффициент.

В [3; 8] предлагается оценка сложности, в которой трудоемкость изделия представляется как мультипликативная функция зависимости совокупности показателей, учитывающих материал детали, требования к точности конструктивно-технологического элемента (КТЭ) изделия, размеры элемента, тип используемой заготовки:

$$T = a + b \cdot C,$$

где  $C$  – конструктивно-технологическая сложность;  $a$  и  $b$  – регрессионные коэффициенты.

Такая методология достаточно корректно устанавливает отношение между конструктивными элементами, способами их изготовления и трудоемкости процессов обработки и дает возможность на стадии принятия решения о производстве прогнозировать трудоемкость изготовления конкретного изделия.

Главный недостаток применения конструктивно-технологической сложности в определении трудоемкости – отсутствие универсальности, что исключает сопоставимость результатов при использовании отдельных станков, участков, цехов, предприятий.

Развитие данного подхода отражено в работах [9; 10]. Последовательность действий (информационная модель), позволяющих получить значение показателя конструктивно-технологической сложности, представлено в формальном виде следующим образом:

$$C = \Phi_c(A, T, \Phi_k(A, K)),$$

где  $A$  – множество параметров изделия применяемых переделов, значимо влияющих на сложность и трудоемкость;  $N$  – вектор параметров аппроксимирующей модели;  $\Phi_k$  – функция классификации изделия;  $K$  – вектор параметров классифицирующей модели.

Вектор параметров  $N$  и вектор  $K$  получают свои значения после настройки (обучения) модели с использованием статистики, собранной в условиях исследуемой производственной системы.

Оценка конструктивно-технологической сложности производится с использованием хорошо зарекомендовавших себя методик расчетов. В то же время при оценке сложности крупных узлов или изделий, применяемой, как правило, для прогнозирования производственных затрат, используются обычно методики, имеющие в своей основе метод аналогий, который иногда недостаточно эффективен и не работает при постановке в производство нового изделия.

В работе [10] оценка степени сложности изготовления того или иного изделия с учетом поправки на сложность в виде коэффициента веса  $K_\delta$  производится по формуле:

$$K_\delta = \left( \frac{G_2}{G_1} \right)^u,$$

где  $G_2/G_1$  – среднее соотношение весов деталей сравниваемых схем или их частей;  $u$  – коэффициент степени изменения.

В [7] приводится также другая методика определения сложности конструктивного элемента изделия. Сложность элемента может быть оценена себестоимостью изготовления главной детали, которая принимается за нормативную себестоимость элемента  $C_3^m$ . Если взять соотношение нормативной себестоимости конкретного элемента к нормативной же себестоимости базового элемента, то будет получен коэффициент затрат  $K_3$ ,

$$K_3 = \frac{C_3^m}{C_3^{BT}}.$$

Что касается реальных затрат на изготовление изделия, то они заведомо больше суммы нормативных затрат на производство главных деталей изделия. Это объясняется тем, что в изделии есть еще и вспомогательные детали, трудоемкость которых бывает весьма значительна. Кроме того, в нормативные затраты согласно этой методике не входят расходы на сборку изделия и его отладку, также не учитывается серийность производства.

Степень сложности поковки ГОСТ 7505-89 «Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски» определяет путем вычисления отношения массы или объема  $G_n$  поковки к массе или объему  $G_\phi$  геометрической фигуры, в которую вписывается форма поковки. Определены виды фигур. Геометрическая фигура может быть шаром, параллелепипедом, цилиндром с перпендикулярными к его оси торцами или правильной призмой. При вычислении отношения  $G_n/G_\phi$  принимают ту из геометрических фигур, масса или объем которой меньше.

Таким образом, проведенный анализ применения методик оценки степени сложности изделия и работ в различных сферах деятельности показал, что эта проблематика актуальна и существует необходимость в её развитии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Попок, Н.Н. Мобильная реорганизация машиностроительного производства / Н.Н. Попок. – Минск: УП «Технопринт», 2001. – 396 с.
2. Рот, К. Конструирование с помощью каталогов / К. Рот; пер. с нем. В.И. Борзенко [и др.]; под ред. Б.Л. Березовского. – М.: Машиностроение, 1985. – 420 с.
3. Шарин, Ю.С. Новый метод нормирования мехобработки / Ю.С. Шарин, Т.В. Старцев // Машиностроитель. – 1999. – № 1. – С. 35–36.
4. Об утверждении Положения о порядке выполнения работ (оказания услуг) по технической защите информации: приказ Гос. Центра безопасности информации при президенте Республики Беларусь 26 июля 2007 г. № 8.
5. Методические рекомендации по применению государственных элементных сметных норм на пусконаладочные работы, федеральное агентство по строительству и жилищно-коммунальному хозяйству: МДС 81-27.2007 / РОССТРОЙ, М., 2007.
6. Технологические правила проектирования. Методическое руководство: МД 3.02-2000 / Гос. предприятие «Центр методологии, нормирования и стандартизации в строительстве / ГОССТРОЙ России. – М., 2000.
7. Порядок определения стоимости разработки технической документации на автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП) для объектов Москвы и ЛПЗП: МРР-3.2.26-99. – М., 1999.
8. Коршунов, А.И. Система технического нормирования машиностроительного предприятия / А.И. Коршунов // Человек и труд. – 2004. – № 8. – С. 80–81.

9. Раскин, П.Н. Оценка конструктивно-технологической сложности при прогнозировании трудоемкости и затрат на ранних стадиях его жизненного цикла / П. Н. Раскин, А.И. Коршунов [Электронный ресурс] / Воткинский филиал ИжГТУ. – 2008. – Режим доступа: <http://www.vfistu.ru>, Свободный. – Загл. с экрана.
10. Гамрат-Курек, Л.И. Экономическое обоснование дипломных проектов: учеб. пособие / Л.И. Гамрат-Курек. – М.: Высш. школа, 1974. – 190 с.

УДК 629.91.04

### ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ШУМОВ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ БЛОЧНО-МОДУЛЬНОЙ ФРЕЗОЙ

**А.В. СИДИКЕВИЧ, А.С. МАКСИМЧУК, С.А. ПОРТЯНКО**  
(Представлено: *д-р техн. наук, проф. Н.Н. ПОПОК*)

*Представлены результаты экспериментальных исследований температуры и уровня шума в зоне резания блочно-модульной торцевой фрезой в сравнении с существующим аналогом – сборной фрезой, сконструированной ВНИИ инструмента.*

Процесс фрезерования сборным режущим инструментом характеризуется высокой температурой в зоне резания, которая влияет на стойкость режущих пластин инструмента, и повышенной склонностью к вибрациям, в результате которых возникает шум и ухудшается качество обработанной поверхности. Создание конструкции сборной фрезы, снижающей температуру и шум технологической системы, является актуальной задачей для машиностроительного производства.

На кафедре технологии и оборудования машиностроительного производства разработаны конструкции блочно-модульных торцевых фрез, в основе которых лежит унифицированный резцовый блок [1; 2]. Надёжность разработанной системы закрепления режущей пластины в блоке резцовом и блоке резцовом в корпусных модулях рассмотрена в [3].

**Исследование температуры и шума в зоне резания.** Исследования проводились для двух торцевых фрез – блочно-модульной, сконструированной на кафедре технологии и оборудования машиностроительного производства (рис. 1, а), и сборной фрезы, сконструированной ВНИИ инструмента (рис. 1, б).

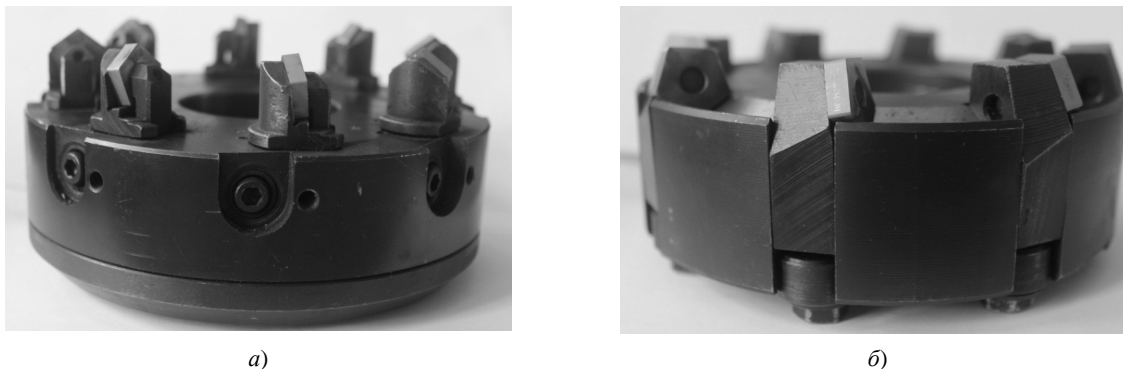


Рис. 1. Сборные фрезы, использовавшиеся при проведении экспериментальных исследований

Конструкции обеих фрез построены по модульному принципу: у каждой фрезы имеется модуль корпусной, элемент зажима пластины режущей (блок резцовый) и элемент зажима блока резцового в модуле корпусном.

При экспериментальных исследованиях фрез выявлялось влияние различной глубины резания, подачи и частота вращения шпинделя станка на температуру и шумы при резании. Для обеих фрез были назначены следующие режимы резания:

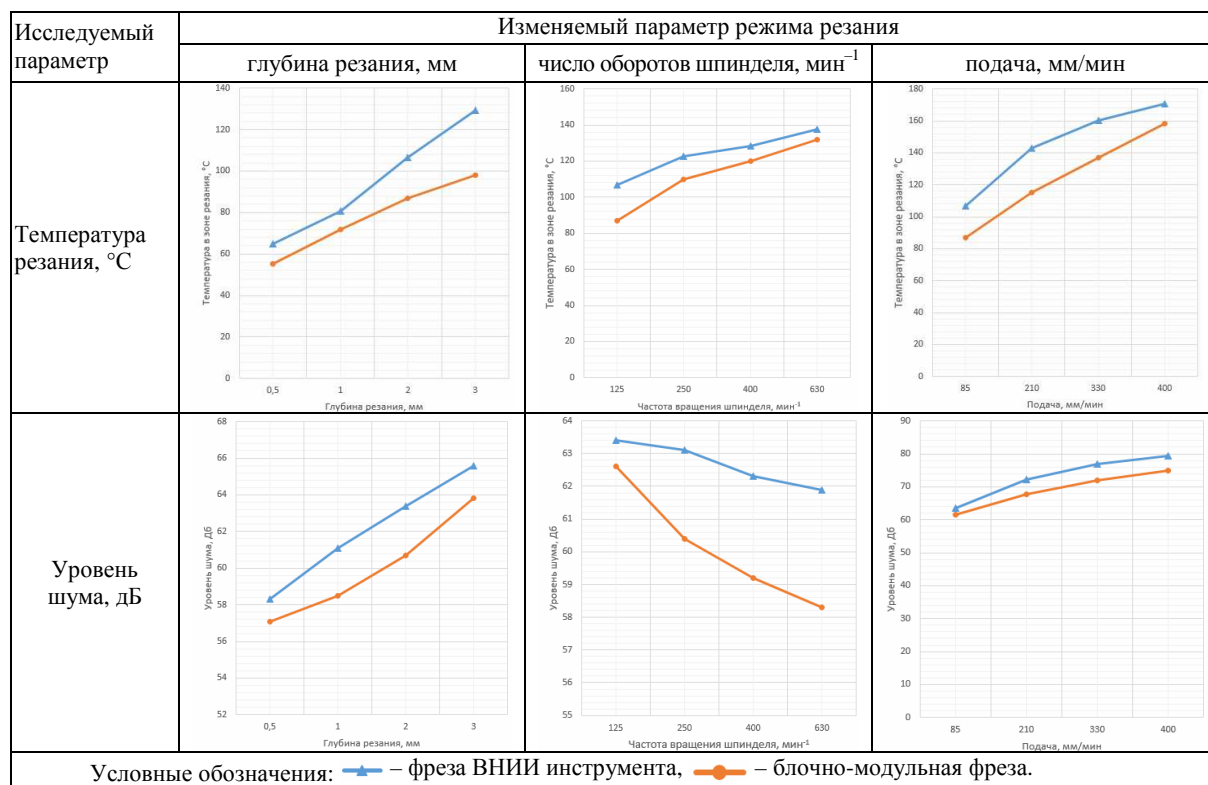
- постоянные подача  $S = 85$  мм/мин и частота вращения  $n = 125$  мин<sup>-1</sup> при изменяющейся глубине резания  $t = 0,5, 1, 2, 3$  мм;
- постоянные подача  $S = 85$  мм/об и глубина резания  $t = 2$  мм при изменяющейся частоте вращения  $n = 125, 250, 400, 630$  мин<sup>-1</sup>;
- постоянные глубина резания  $t = 2$  мм и частота вращения  $n = 125$  мин<sup>-1</sup> при изменяющейся подаче  $S = 85, 210, 330, 400$  мм/мин.

Следует отметить, что при исследованиях учитывались рекомендации стандартов по испытаниям фрез: ГОСТ 26596 «Фрезы торцовые с механическим креплением многогранных пластин» и ГОСТ 23726 «Инструмент металлорежущий. Правила приемки».

Результаты исследований представлены в таблице 1 в виде графиков.

Таблица 1

Результаты исследования температуры и шумов в зоне резания



После обработки на всех режимах был измерен износ режущих пластин, которые использовались на обеих фрезах. Результаты измерения износа режущих пластин представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты измерения износа режущих пластин

Номер режущей пластины	Величины износа режущей пластины, мкм	
	Блочно-модульная фреза	Фрезы ВНИИ инструмента
1	48	63
2	46	59
3	48	67
4	53	62
5	46	65
6	49	64
7	51	70
8	47	60

По полученным данным экспериментальных исследований температуры и шумов в зоне резания, а также износа режущих пластин можно сделать следующие *выводы*:

- при обработке поверхности детали при различных режимах резания значения температур в зоне резания и шумов в технологической системе на порядок ниже для блочно-модульной фрезы по сравнению с фрезой ВНИИ инструмента, что свидетельствует о более плавном процессе резания в первом случае, более высокой точности позиционирования режущих пластин в корпусе блочно-модульного инструмента и большей жёсткости блочно-модульной фрезы;

- характер зависимостей температуры и шума от режимов резания соответствует классическим представлениям, то есть с увеличением глубины резания и подачи значения температуры резания и шума растут, также растут температура резания. Глубина резания влияет в большей степени с увеличением частоты вращения шпинделя станка значения шума уменьшаются, и значения температуры резания растут.

- износ режущих пластин, блочно-модульной фрезы, в среднем на порядок ниже, чем пластин фрезы ВНИИ инструмента, что также свидетельствует о большей жёсткости блочно-модульной фрезы, чем фрезы ВНИИ инструмента.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Режущий инструмент: пат. Респ. Беларусь / Попок Н.Н., Терентьев В.А., Хмельницкий Р.С., Сидикевич А.В., Сопиков И.Я.; заявитель Полоц. гос. ун-т. – № а2011026; заявл. 2011.01.06. – Выдано 2014.12.12.
2. Способ установки сменной режущей пластины в режущем инструменте: пат. Респ. Беларусь / Попок Н.Н., Терентьев В.А., Хмельницкий Р.С., Сидикевич А.В., Сопиков И.Я.; заявитель Полоц. гос. ун-т. – № а2011025; заявлено 2011.01.06. – Выдано 2014.12.12.
3. Попок, Н.Н. Совершенствование системы закрепления пластин режущих и блоков резцовых в блочно-модульных режущих инструментах / Н.Н. Попок, А.С. Максимчук, С.А. Портянко // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия В. Промышленность. Прикл. науки. – 2015. – № 2. – С. 16–22.

УДК 621.91.01

### АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛИ «ПАЛЕЦ ШАРОВОЙ» ИНСТРУМЕНТАМИ ЗАРУБЕЖНЫХ ФИРМ

*Р.С. ХМЕЛЬНИЦКИЙ, В.С. АНИСИМОВ*

*(Представлено: д-р техн. наук, проф. Н.Н. ПОПОК)*

*Представлены результаты сравнительного анализа производительности технологий обработки поверхностей детали «Палец шаровой» инструментами зарубежных фирм и отечественного производителя. На основе анализа сделан вывод о производительности сменных неперетачиваемых пластин рассмотренных производителей.*

В настоящее время себестоимость изготовления деталей оказывает большое влияние на конкурентоспособность продукции на рынке. Чтобы снизить себестоимость изготовления деталей, необходимо стремиться изготавливать детали с наибольшей производительностью. В данной работе представлены результаты сравнительного анализа производительности обработки поверхностей инструментами таких фирм, как Sandvik Coromant (Швеция); Mitsubishi (Япония); SECO (Швеция), а также отечественного производителя ОАО «Борисовский завод «Автогидроусилитель».

Деталь «Палец шаровой» (рис. 1) представляет собой тело вращения с цилиндрическими, коническими и сферической поверхностями.

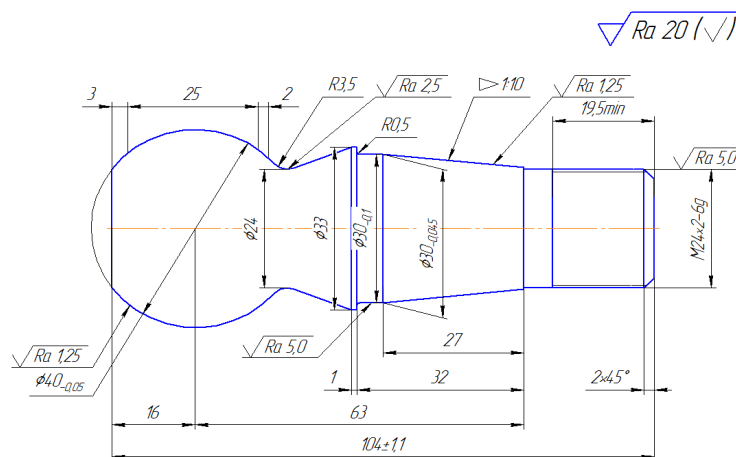
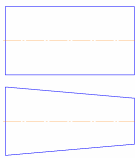
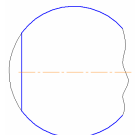
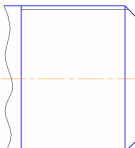


Рис. 1. Палец шаровой

Варианты технологии обработки поверхностей данной детали приведены в таблице 1.

Таблица 1

## Поверхности и способы их обработки

Поверхности	Способ обработки	
	Точение токарными резцами для контурного точения	
	точение токарными резцами для контурного точения	фрезерование специальной фрезой
	точение токарными резьбовыми резцами	накатывание резьбонакатными роликами




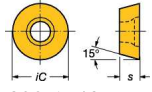
Сравнивать производительность обработки сборного режущего инструмента вышеперечисленных зарубежных фирм и отечественного производителя будем по основному времени чистовой обработки с режимами резания, которые рекомендованы фирмами-изготовителями режущего инструмента.









Сменные неперетачиваемые пластины и режимы резания подбираются в соответствии с рекомендациями, приведенными в каталогах вышеперечисленных фирм (табл. 2) [1–4].

Режимы резания для отечественного производителя приняты из комплекта технологической документации на изготовление детали «Палец шаровой», разработанной ОАО «Борисовский завод «Автогидроусилитель».

Таблица 2

## Режимы резания применяемых сменных неперетачиваемых пластин

Вид обработки и поверхность	Номер пластины	Режимы резания							
		глубина резания, $a_p$ , мм			подача $f$ , мм/об; мм/зуб			скорость резания $V$ , м/мин	
		Рек	Min	Max	Рек	Min	Max	Рек	{..}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Sandvik Coromant</b>									
Для точения конической и цилиндрической поверхностей	 TNMG 160408-PF	0,4	0,3	1,5	0,2	0,1	0,35	455	
Для нарезания метрической резьбы	 R166.0G-16MM01-200	Число проходов = 8						125	
Для точения сферической поверхности	 DNMG 150608-PF	0,4	0,3	1,5	0,2	0,1	0,35	455	
Для фрезерования сферической поверхности	 R300-1648M-PM	1,0			0,41	0,1	0,62	285	

Вид обработки и поверхность	Номер пластины	Режимы резания							
		глубина резания, $a_p$ , мм			подача $f$ , мм/об; мм/зуб			скорость резания $V$ , м/мин	
		Рек	Min	Max	Рек	Min	Max	Рек	{..}
<b>Seco</b>									
Для точения конической и цилиндрической поверхностей	 TNMG 160408-MF2	1,0			0,25			350	
Для нарезания метрической резьбы	 16ER AG60	Число проходов = 8						145	
Для точения сферической поверхности	 DNMG 150604-MF2	1,0			0,15			385	
Для фрезерования сферической поверхности	 REHR 1605M0T-M14	1,0			0,23			220	
<b>Mitsubishi</b>									
Для точения конической и цилиндрической поверхностей	 TNMG160408-LP	1,0			0,3			330	210...355
Для нарезания метрической резьбы	 MMT16ER200ISO-S	Число проходов = 8						100	60...140
Для точения сферической поверхности	 DNMG 150604-LP	1,0			0,3			330	210...355
Для фрезерования сферической поверхности	 RPMW1606M0E	1,0			0,40			180	130...220

Для каждой поверхности на основании рекомендованных режимов резания произведен расчет основного времени по формуле

$$T_o = \frac{L_{px} \cdot i}{s_m};$$

где  $L_{px}$  – длина рабочего хода, которая определяется по формуле  $L_{px} = l + l_1 + l_2$ , мм ( $l$  – длина обрабатываемой поверхности, мм;  $l_1$  – величина врезания, мм;  $l_2$  – величина перебега, мм);  $i$  – число проходов;  $s_m$  – минутная подача, которая определяется по формуле  $s_m = s_o \cdot n = s_z \cdot z \cdot n$ , мм/мин ( $s_o$  – подача на оборот, мм/об;  $s_z$  – подача на зуб, мм/зуб;  $n$  – частота вращения,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $z$  – число зубьев).

Полученные результаты определения основного времени обработки конической, резьбовой и сферической поверхностей представлены на диаграммах (рис. 2–5). При нарезании резьбы у отечественного производителя использовался накатной ролик.

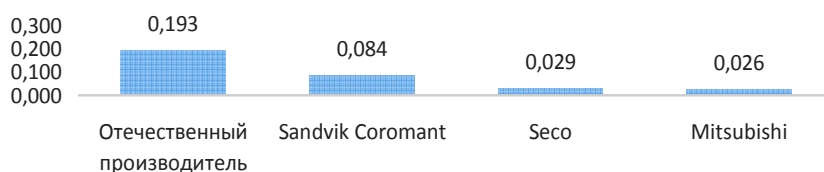


Рис. 2. Диаграмма основного времени обработки конической поверхности резцами



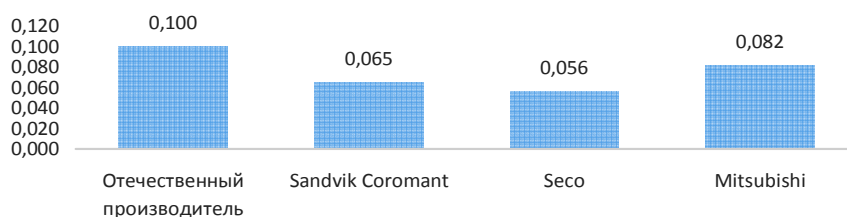


Рис. 3. Диаграмма основного времени обработки конической поверхности резцами

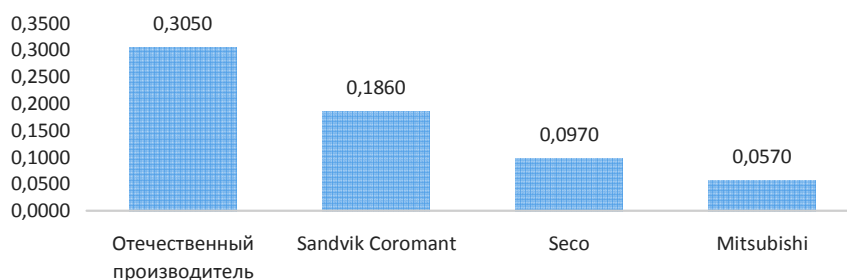


Рис. 4. Диаграмма основного времени обработки сферической поверхности резцами

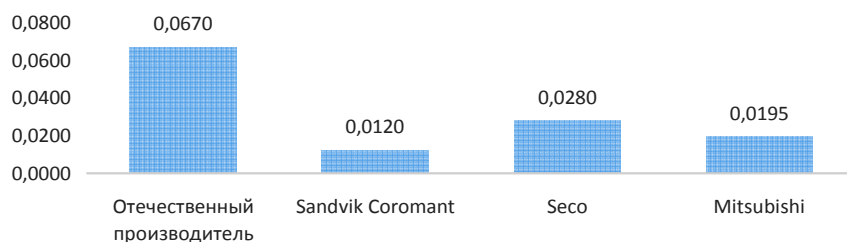


Рис. 4. Диаграмма основного времени при обработке сферической поверхности специальной фрезой

Анализируя диаграммы основного времени обработки поверхностей (см. рис. 2–5), можно сделать вывод по производительности сменных неперетачиваемых пластин рассмотренных производителей:

- при обработке конической и сферической поверхностей точением наибольшая производительность достигается при использовании сменных неперетачиваемых пластин фирмы Mitsubishi.
- при нарезании резьбы наибольшая производительность достигается при использовании сменных неперетачиваемых пластин фирмы Seco;
- при обработке сферической поверхности специальной фрезой наибольшую производительность показывают сменные неперетачиваемые пластины фирмы SandvikCoromant.

Сравнивая, например, обработку сферической поверхности точением и фрезерованием видим, что фрезерование сферической поверхности в 3 и более раз производительнее обработки точением.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Каталог «Corokey» / Фирма SandvikCoromant, 2006.
2. Каталог «Токарная обработка» / Фирма Seco, 2012.
3. Каталог «Фрезерная обработка» / Фирмы Seco, 2012.
4. Общий каталог / Фирма Mitsubishi, 2012–2013.

УДК 621.9.04

## ЭЛАСТИЧНЫЙ ИНСТРУМЕНТ С ОРИЕНТИРОВАННЫМИ ЗЕРНАМИ АБРАЗИВА ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

А.С. КИРИЕНКО, П.Н. РОГОВ

*Приводится анализ способов получения эластичного шлифовального инструмента, обслуживающего технически и экономически эффективный процесс шлифования заготовок в машиностроении и других отраслях. Рассматриваются проблемы увеличения эксплуатационных характеристик такого типа инструментов и импорт их замещения отечественными. Особое внимание уделяется разработке механизма управления свойствами рабочих поверхностных слоев при формировании ориентированной поверхности из абразивных порошков.*

В настоящее время широкое распространение получили методы нанесения порошковых материалов в электростатическом поле. Нанесённые покрытия имеют широкую номенклатуру, в которой можно выделить группы лакокрасочных покрытий, защитных покрытий, абразивных покрытий. Применение электростатического поля позволяет существенно повысить качество получаемых покрытий, а в случае с нанесением абразивных материалов при получении гибкого абразивного инструмента оптимизировать эксплуатационные свойства покрытия [1].

Так, при получении эластичных абразивных материалов в электростатическом поле, благодаря ориентации зёрен по оси перпендикулярно к поверхности абразивной ленты происходит переход от режима «микроцарапания» к режиму «микрорезания» с увеличением производительности шлифования вследствие снижения опасности «прижога», однако при таком расположении зёрен абразива не могут наблюдаться оптимальные условия «микрорезания». Для реализации данных условий необходимо определение оптимального угла наклона оси абразивного зерна к поверхности абразивной ленты [2].

Появилась необходимость в изготовлении эластичного шлифовального инструмента с ориентированным положением зёрен абразива для машиностроительных, деревообрабатывающих, стекольно-керамических, строительных и других предприятий Беларуси, которым можно будет выполнять широкий спектр технологических операций, начиная с обдирочных и заканчивая доводочными.

Эластичный шлифовальный инструмент изготавливается за рубежом, о чем свидетельствует анализ импорта таких материалов в Республику Беларусь из Российской Федерации, Украины, Китая, Турции, Германии. В нашей стране на данный момент такой инструмент не изготавливают, поэтому освоение даже аналогичного производства позволит осуществить импортозамещение по данной группе инструментов [3].

Анализ технологических процессов производства эластичных шлифовальных инструментов конкурентами свидетельствует о реализации ими нескольких способов нанесения абразивного материала.

Традиционный механический способ весьма прост и менее интересен (рис. 1) [4].

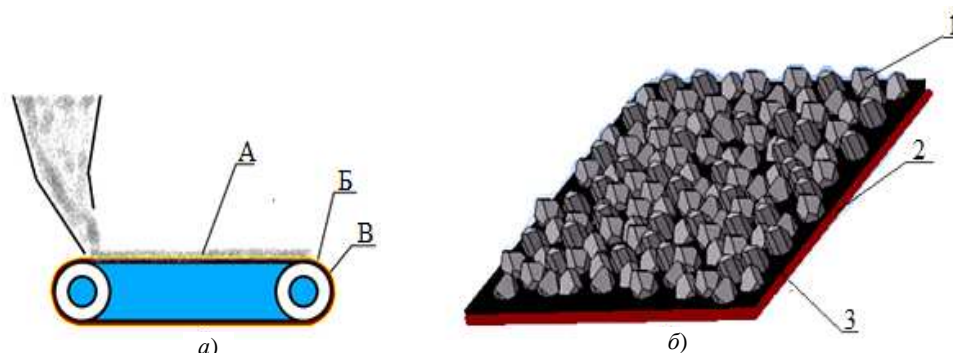


Рис. 1. Механический способ нанесения абразива (а); структура получаемого покрытия (б):

А – абразив; В – эластичная основа; С – связующее вещество (клей);

1 – абразив; 2 – эластичная основа; 3 – связующее вещество (клей)

Из бункера абразив поступает на конвейер с подготовленной аппретированной основой и образует многослойное покрытие с хаотическим расположением частиц (рис. 1, б).

При традиционном электростатическом методе производство эластичного шлифовального инструмента осуществляется на поточно-механизированных линиях. Формирование абразивного слоя происходит в электростатической камере 1, принцип действия которой показан в виде схемы на рисунке 2 [5].

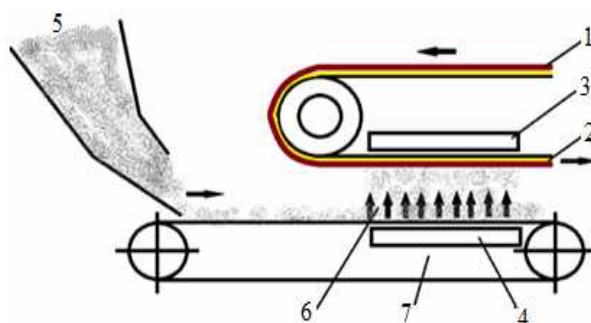


Рис. 2. Схема традиционного электростатического способа нанесения абразива:  
1 – эластичная аппретированная основа шлифовальной шкурки; 2 – связующее вещество (клей);  
3 – катод (-); 4 – анод (+); 5 – бункер; 6 – абразив; 7 – конвейер

Все требования и свойства данного инструмента обеспечиваются существующими технологиями изготовления эластичного шлифовального инструмента, однако они позволяют получить лишь упорядоченное хаотическое расположение абразива, что приводит к снижению точности, прижогам обрабатываемой поверхности из-за неуправляемости процесса [6].

Исходя из этого, становится актуальной разработка механизма, позволяющего изготавливать ленточный шлифовальный инструмент с ориентацией зерен абразива в рабочей поверхности и измененной структурой поверхности инструмента, что обеспечит повышение его режущей способности и износостойкости. Предлагаемый способ представлен на рисунке 3 [7].

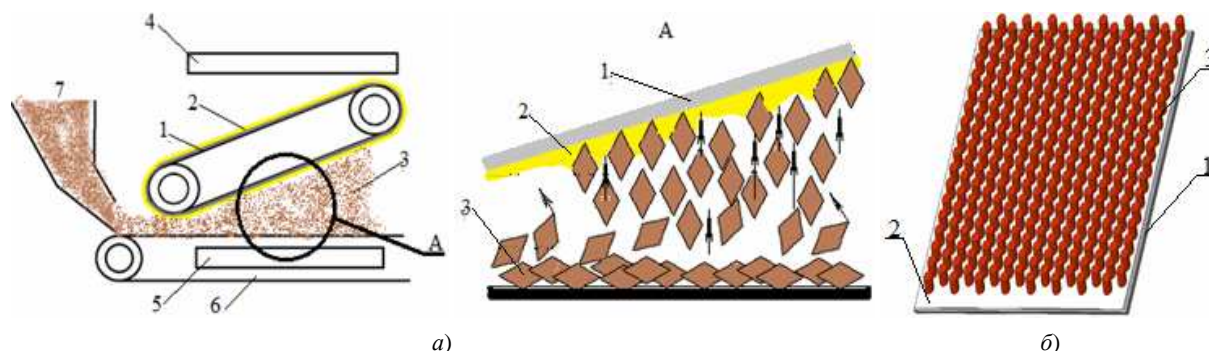


Рис. 3. Способ строго ориентированного электростатического формообразования рабочей поверхности гибкого абразивного инструмента (а), структуры получаемого покрытия (б):  
1 – эластичная основа шлифовальной шкурки; 2 – связующее вещество (клей); 3 – абразив;  
4 – катод (-); 5 – анод (+); 6 – конвейер; 7 – бункер

Технология электростатического формообразования рабочей поверхности гибкого абразивного инструмента осуществляется в несколько этапов:

- аппретирование и первичная сушка основы;
- аппретированная основа проходит через электростатическое поле, в котором абразивные зерна ориентируются, взлетают и внедряются в основу;
- промежуточная сушка;
- наносится закрепляющий клеевой слой;
- окончательная сушка.

Предлагаемый механизм электростатического формообразования покрытия с ориентированными зернами абразива позволяет повысить износостойкость и режущую способность эластичного шлифовального инструмента путем использования прочностного потенциала абразивного зерна и снижения «засаливания» рабочей поверхности продуктами обработки и износа. Предел прочности такого инструмента увеличивается, поскольку ориентированные абразивные частицы при микрорезании будут максимально использовать свой предел прочности на сжатие, воспринимая результирующую нагрузку в основном именно на сжатие, а не на срез. Для снижения фактора засаливания у большинства инструментов

существуют стружечные канавки. При получении однослойного ориентированного покрытия эластичного шлифовального инструмента для дополнительного увеличения износостойкости, экономии абразивного материала и повышения точности обработки предлагается ряд моделей рабочих поверхностей покрытий, обладающих стружечными канавками. Основными формами предлагаемых поверхностей покрытий являются: сетчатая, шевронная, Z-образная и периодические с разными профилями (рис. 4).

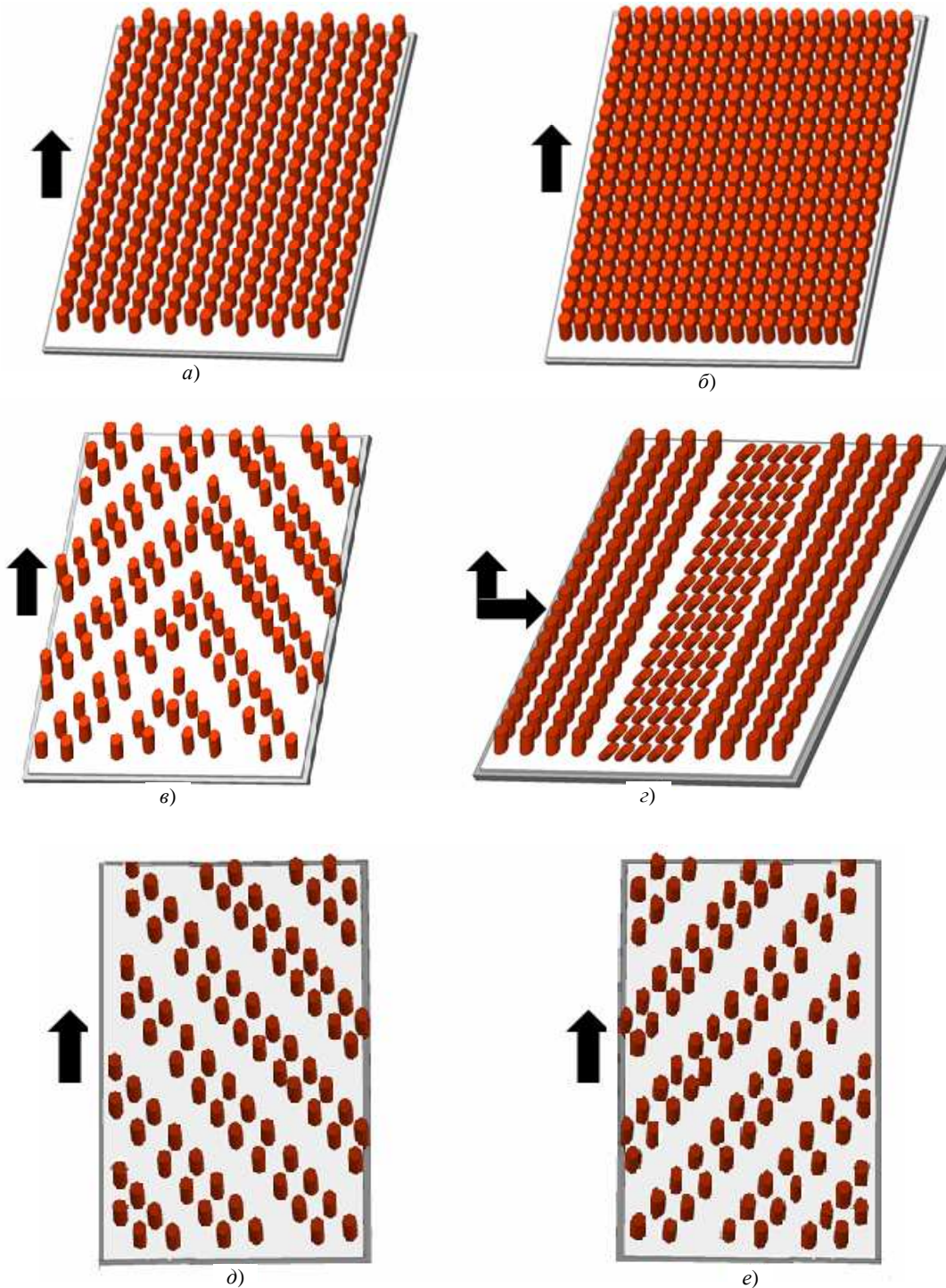


Рис. 4. Предлагаемые структуры поверхностей  
формообразованных абразивных покрытий в электростатическом поле:  
*a* – сетчатая; *b* – периодическая с вертикальным профилем; *c* – шевронная;  
*d* – периодическая с горизонтально-вертикальным профилем; *e* – периодическая косая  
(стрелкой указано направление обработки)



Анализ результатов проведенных экспериментальных оценок эксплуатационных характеристик показал, что в сравнении с традиционными инструментами такое формообразование рабочей поверхности эластичного шлифовального инструмента с ориентированным направлением абразивных частиц позволяет:

- увеличить производительность шлифования поверхности в 1,5 раза;
- повысить износостойкость инструмента в 1,5...2 раза;
- сократить экономические затраты на обработку материала в 1,2...1,5 раза.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Королев, А.В. Теоретико-вероятностные основы абразивной обработки / А.В. Королев – Саратов: Университет, 1987. – 117 с.
2. Завистовский, С.Э. Оценка случайных процессов при конструировании оптимального абразивного инструмента / С.Э. Завистовский, А.С. Кириенко. – Минск: Машиностроение, 2003. – Вып. 19. – С. 184–186.
3. Завистовский, С.Э. Технология изготовления специального ленточного абразивного инструмента и оценка его производительности / С.Э. Завистовский, А.С. Кириенко // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2006. – № 6. – С. 20–25.
4. Завистовский, С.Э. Моделирование процесса электростатического осаждения абразивных покрытий / С.Э. Завистовский, А.С. Кириенко, Т.И. Завистовская // Практика и перспективы развития институционального партнерства: материалы междунар. науч.-практ. семинара. – Таганрог, 2002. – С. 72–74.
5. Особенности формообразования мелкодисперсных порошков абразивных материалов в электростатическом поле / С.Э. Завистовский [и др.] // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия: 6-я междунар. науч.-техн. конф. – Минск, 2004. – С. 308–309.
6. Везуб, В.Н. Шлифование абразивными лентами / В.Н. Везуб. – М.: Машиностроение, 1972. – 104 с.
7. Генератор для нанесения дисперсных порошков в электростатическом поле: пат. № 5181 Респ. Беларусь на полезную модель от 05 янв. 2009 г. / С.Э. Завистовский, А.С. Кириенко.

УДК 621.9.04

### УСТРОЙСТВО ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ ЭЛАСТИЧНОГО ШЛИФОВАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

*А.С. КИРИЕНКО, П.Н. РОГОВ*

*Приводится анализ, сравнение, преимущества и недостатки различных технологий 3D-печати. Рассматривается вопрос о наиболее предпочтительном способе 3D-печати для создания эластичного шлифовального инструмента с ориентированными зернами периодического действия. Представлена экспериментальная схема установки для 3D-печати эластичного шлифовального инструмента.*

Мир 3D-печати многообразен и неповторим. Однажды, задавшись целью научиться создавать трёхмерные объекты, человеческий разум предлагает все новые способы и методы получения желаемого. Существует большое количество технологий 3D-печати от «бумажной прессовки» до «вакуумного плавления». Как и у самых обычных принтеров, которые можно встретить в каждом офисе, технологии 3D-печати подразделяются на лазерную и струйную. Существуют также технологии, которые проблематично отнести к одной из двух категорий. Например, бумажная 3D-печать от Mcor Technologies.

Трёхмерная печать – это метод прототипирования (создания прототипа, модели предмета), позволяющий из математической модели, разработанной в специальной САД-программе, при помощи 3D-принтера получить послойно созданный физический объект.

Впервые идея трёхмерной печати была воплощена в жизнь еще в 1986 году. Тогда это была печать при помощи стереолитографических машин. С тех пор эта отрасль активно развивается.

Области применения – первое, и основное на настоящий момент, применение 3D-печать нашла в промышленном производстве. Изготовление прототипа в материале существенно снижает затраты на изготовление, например, деталей и увеличивает скорость их разработки. Осязаемая и физически существующая модель детали дает возможность изучить форму объекта и его свойства несравнимо лучше, чем самое детальное изображение на экране.

В целом лазерными считают 3D-принтеры, использующие в процессе печати лазерный луч. Либо для засвечивания фотоматериалов, либо для вырезания контуров, либо для выжигания порошковых масс –

все это лазерные принтеры. Струйными 3D-принтерами, по сути, считают всю оставшуюся массу устройств используемых для создания объемных моделей.

Кроме того, специалисты подразделяют все применяемые технологии 3D-печати на быстрые и медленные. Не обозначая при этом конкретных временных критериев для отнесения технологии к той или иной категории.

Рассмотрим подробнее принцип работы 3D-принтеров. В рамках данной работы – пять технологий наиболее приемлемых к 3D-печати для создания эластичного шлифовального инструмента:

- селективное лазерное спекание (SLS);
- лазерная стереолитография (SLA);
- технология печати от Z-Corp (3DP);
- LENS (LASER ENGINEERED NET SHAPING);
- ламинирование (LOM).

Все эти технологии объединяет невысокая себестоимость, относительная низкая прочность и средняя точность воспроизводимых моделей. Главное – это высокая производительность. Скорость печати в этих техниках достигает нескольких сантиметров в час, что является очень высоким показателем.

### 1. Селективное лазерное спекание (SLS)

Метод аддитивного производства, разработанный в конце 80-х годов Карлом Декардом в Техасском университете Остина при поддержке DARPA. Технология использует лазер высокой мощности для спекания небольших частиц пластика, керамики, стекольной муки или металла в трехмерную структуру.

Лазерный луч выборочно сплавляет частицы порошка в рабочей зоне, получая данные о форме детали путем сверки с виртуальной моделью, сгенерированной компьютером. После завершения обработки слоя, деталь погружается в порошок и процесс повторяется. Примерно такой же способ используется в лазерной стереолитографии, где рабочим материалом выступает жидкий фотополимер, затвердевающий под лучом лазера (рис. 1).

В качестве материала для печати выступает особый порошок, состоящий из частиц металла, покрытых полимером. После завершения процесса спекания деталь помещается в высокотемпературную печь, где пластик выгорает, а его место занимает легкоплавкая бронза

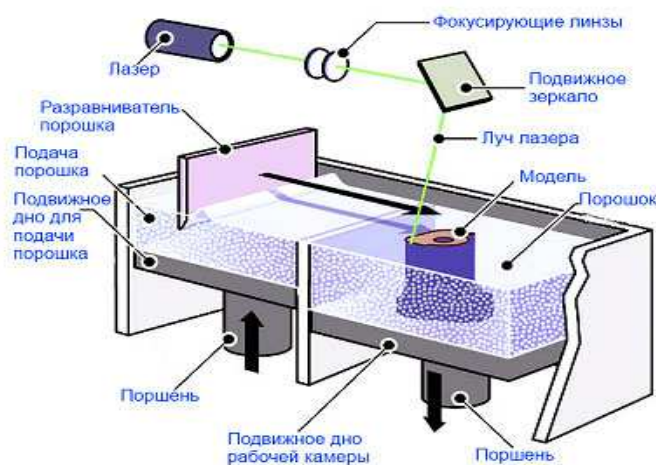


Рис. 1. Схема селективного лазерного спекания

У технологии SLS есть несколько существенных плюсов:

- отсутствие необходимости в материалах поддержки. Деталь погружена в порошок, который и выполняет функцию поддержки нависающих деталей;
- большой выбор материалов, включая металлы;
- высокая скорость печати (до 35 мм/ч);

Минусы:

- шероховатая структура моделей, требующая дальнейшей обработки;
- большое время подготовки принтера к работе (нагрев и стабилизация температуры).

### 2. Лазерная стереолитография (SLA)

Метод быстрого прототипирования, появившийся в 80-х годах XX века. Метод был запатентован в 1986 году Чарльзом Халлом, впоследствии основавшим компанию 3D Systems.

Суть технологии состоит в послойном наращивании трехмерных объектов из жидкой фотополимерной смолы, затвердевающей под действием лазерного луча. Жидкость заливается в бак, после чего ла-

зерный луч последовательно обходит выбранные точки на поверхности материала. Энергия луча лазера приводит к точечной полимеризации и таким образом образует фрагменты будущего изделия. После формирования слоя деталь опускается в бак и процесс повторяется. По завершении формирования модели остатки рабочей жидкости сливаются, а деталь некоторое время держится под ультрафиолетом (рис. 2).

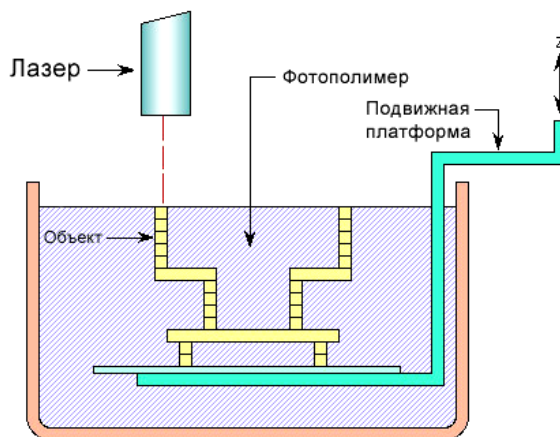


Рис. 2. Схема лазерной стереолитографии (SLA)

Технология SLA обладает следующими преимуществами:

- возможность изготовления сложных прототипов, включая тонкостенные модели;
- высокая точность деталей (в некоторых SLA-принтерах компании 3D Systems толщина слоя может достигать 0,025 мм);
- возможность использовать различные фотополимерные вещества;
- высокая скорость печати.

Недостатки:

- необходимость использовать поддержки при печати нависающих элементов;
- дороговизна исходных материалов и самих принтеров.

### 3. Технология печати от Z-Corp (3DP)

Технология изобретена в 1980 году в MIT студентом PaulWilliams, технология была продана в коммерческие организации, одна из которых (zCorp) в настоящее время поглощена 3D Systems.

На материал в порошковой форме наносится клей, который связывает гранулы, затем поверх склеенного слоя наносится свежий слой порошка и т.д. На выходе, как правило, получается материал sandstone (похожий по свойствам на гипс).

Преимущества:

- так как используется клей, в него можно добавить краску и таким образом печатать цветные объекты;
- технология энергоэффективная и относительно недорогостоящая;
- можно печатать, используя порошок стекла, костный порошок, переработанную резину, бронзу и даже древесные опилки.

Недостатки:

- на выходе получается достаточно грубая поверхность, с невысоким разрешением ~ 100 микрон;
- материал нужно подвергать постобработке (запекать), чтобы придать ему необходимые свойства.

### 4. Lens (LASER ENGINEERED NET SHAPING)

Материал в форме порошка выдувается из сопла и попадает на сфокусированный луч лазера. Часть порошка пролетает мимо, а та часть, которая попадает в фокус лазера, мгновенно спекается и слой за слоем формирует трехмерную деталь. Именно по такой технологии печатают стальные и титановые объекты. Поскольку до появления этой технологии печатать можно было только объекты из пластика, к 3D-печати особенно серьезно никто не относился, а эта технология, открыла двери для 3D-печати в «большую» промышленность. Порошки различных материалов можно смешивать и получать таким образом сплавы на лету.

Применение: например, титановые лопатки для турбин с внутренними каналами охлаждения.

### 5. Ламинирование (LOM)

Изготовление объектов с использованием ламинирования (англ. LaminatedObjectManufacturing или LOM) – технология 3D-печати, разработанная и впервые опробованная калифорнийской компанией Helisys. Суть технологии заключается в послойном формировании объекта путем склеивания слоев материала, которые обрезаются ножом или лазером (рис. 3).

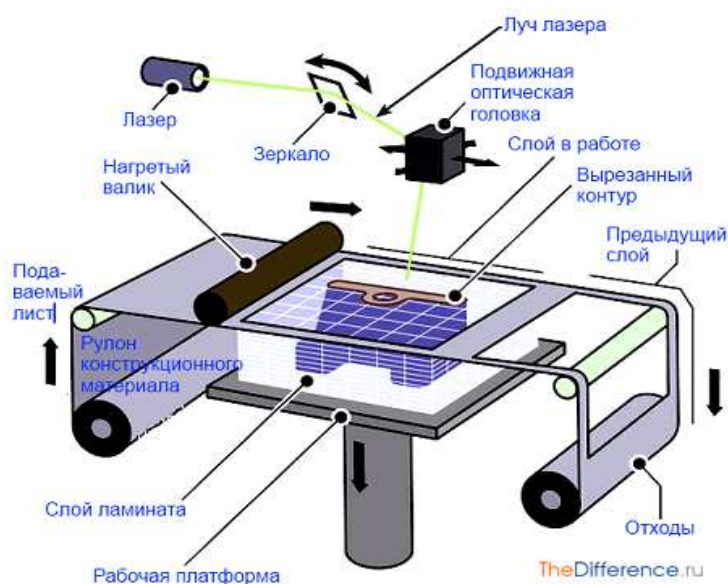


Рис. 3. Схема процесса ламинирования (SLA)

В качестве исходных материалов используются пластик, бумага, металлическая фольга. Слои склеиваются при помощи нагретого валика, поэтому в процессе ламинации выделяется большое количество дыма, в связи с чем рабочая область принтера должна быть герметична и иметь систему отвода продуктов горения.

Сегодня технология LOM заметно уступает по популярности другим методам 3D-печати, в частности, FDM и SLS, но в то же время остается одним из самых быстрых и недорогих способов моделирования.

Точность изготовления деталей по технологии LOM заметно уступает другим способам 3D-печати. Технология не слишком подходит для создания сложных объектов, поскольку не позволяет создавать полости. В то же время метод имеет одно существенное преимущество – он использует недорогие материалы, а получаемые модели отличаются повышенной прочностью [1].

Следующим шагом анализа выбранных технологий 3D-печати и полученных образцов напечатанных моделей является оценка по следующим выбранным критериям: точность, качество выбранных элементов, прочность, шероховатость и функциональность. При оценке выбранных условий максимальный балл равен 1, минимальный – 3.

Выбор критериев наиболее важен:

- *критерий точности* – показывает, насколько идентичен полученный прототип заложенному в компьютер проекту. Количественная оценка происходит как визуальным методом, так и при помощи измерительных приборов;

- *критерий качества мелких деталей* – оценивает, насколько качественно и точно напечатаны мелкие элементы на прототипе. Кроме всего прочего, оценивает степень устойчивости небольших деталей к истиранию;

- *критерий прочности* – характеризует твердость образца. Оценивается степень деформации при сжатии и разрыве, кручении и изломе;

- *критерий шероховатости* – оценивает степень шероховатости и зернистость поверхностной структуры изделия. Проверка происходит органолептическим методом;

- *критерий функциональности* – относительный параметр, характеризующий удобство применения и время жизни полученного прототипа при использовании его по назначению.

Оценки выставлялись для одного и того же изделия, созданного с использованием одних и тех же сырьевых элементов, но различных способов 3D-печати (таблица). Однако показатели, приведенные в тестовых таблицах, относительны. Если доля такой субъективной погрешности при оценивании точности, прочности, шероховатости и качества мелких деталей прототипа сведены к минимуму за счет применения специальных измерительных приборов, то оставшийся критерий находится в сильной зависимости от степени объективности тестирующего.

В общем, следует отметить, что бытовые 3D-принтеры добились высокой точности изготовления объектов. Остальные качественные показатели только лишь немного превосходят средний уровень.



Сводная таблица качества технологий

Технология	Функциональность	Точность	Качество мелких деталей	Гладкость поверхности	Прочность	Итоговый балл	Место рейтинга
LENS	1,5	1	1	1	2,5	7	1
SLA	2	1,33	1	1	2,66	7,99	2
3DP	1	1	2,33	3	1,33	8,66	3
SLS	1	2	3	3	1	10	4
LOM	3	1	2	2	3	11	5

В настоящее время технология 3D-печати достигла уровня, при котором можно создавать объекты из различных материалов, соединение которых ранее в классической технологии материаловедения не являлись возможными. В этой связи в последнее время в промышленности появляются частые случаи промышленного применения технологии 3D-печати для создания уже не прототипов и моделей, а реальных деталей и узлов. Поэтому в настоящее время закономерным явлением является отход от использования 3D-печати для реализации PR-технологии и перехода к испытаниям, для полного промышленного применения продукта.

Одним из направлений этой технологии может быть создание производства шлифовального инструмента на эластичной основе с ориентированными зёрнами абразива, которое будет эффективно использовано в черновой и чистовой обработке материалов [2]. При этом конструкция оборудования для 3D-печати нуждается в модернизации таким образом, чтобы это позволило использовать эффективные технологии 3D-печати, совместимые с классическими способами получения такого инструмента.

Нами разработана и представлена схема экспериментальной установки производства эластичного абразивного инструмента с использованием 3D-печати на основе способа получения эластичного абразивного инструмента с ориентированными зёрнами абразива в электростатическом поле.

Прототип установки представляет собой конструкцию для производства эластичного шлифовального инструмента с использованием электростатического поля (рис. 4) [2].

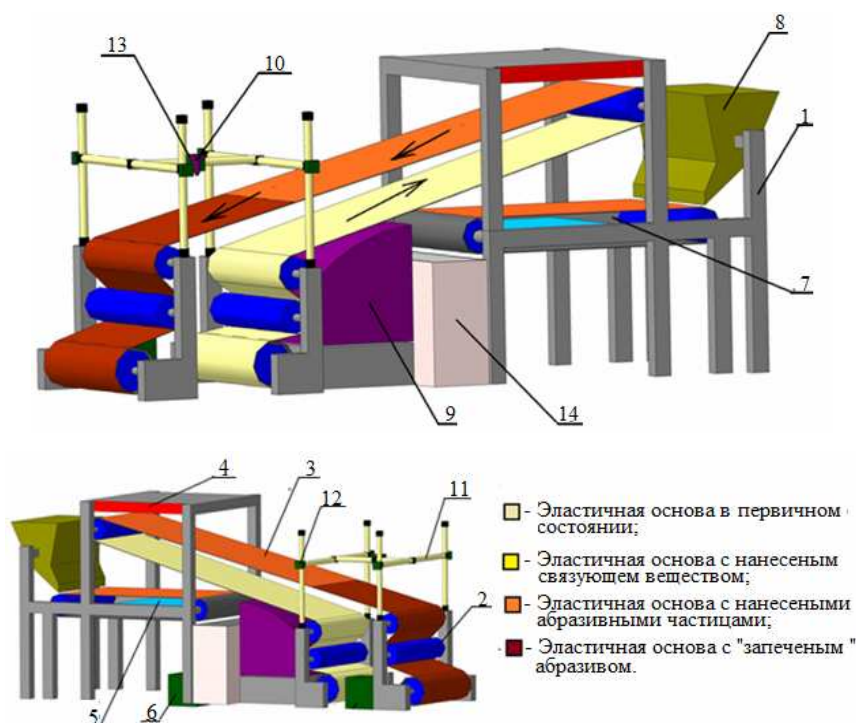


Рис. 4. Схема экспериментальной установки производства эластичного шлифовального инструмента:

1 – станина (каркас); 2 – подающие валы; 3 – эластичная основа; 4 – катод (+); 5 – анод (-); 6 – электродвигатель; 7 – конвейер; 8 – бункер подачи абразива; 9 – волновое нанесение клея; 10 – тепловой инфракрасный генератор;

11 – каркас для движения тепловой установки (z, x, y); 12 – моторы для перемещения тепловой установки;

13 – инфракрасный отражатель; 14 – бункер накопления абразива для вторичного производства

Подающие валы 2, которые приводятся в движение от электродвигателя 6, зажимают эластичную основу 3 и протягивают ее к прибору для волнового нанесения клея (рис. 5). Лента основы проходит через гребень волны клея, который противонаправлен движению ленты, что способствует лучшему закреп-

лению связующего вещества на основании ленты. Затем лента проходит над конвейером 7, на который из бункера 8 подаются абразивные частицы. При помощи катода 4 и анода 5 частицы абразива, заряженные в электростатическом поле, переносятся и приклеиваются к основе, смазанной клеем, при этом частицы абразива имеют строго ориентированное расположение. После чего происходит сушка основы с помощью инфракрасного теплового генератора 10 и отражателя 13, которые перемещаются по каркасу 11 вдоль осей Z, X, Y при помощи электродвигателей 12. Последний этап – накручивание готовой к применению шлифовальной ленты в рулоны.

Метод волнового нанесения клея основан на методе пайки волной припоя, схематично проиллюстрирован рисунком 5.



Рис. 5. Волновое нанесение клея

На основе данного прототипа разработана схема экспериментальной установки 3D-печати абразивного порошка и производства эластичного шлифовального инструмента (рис. 6).

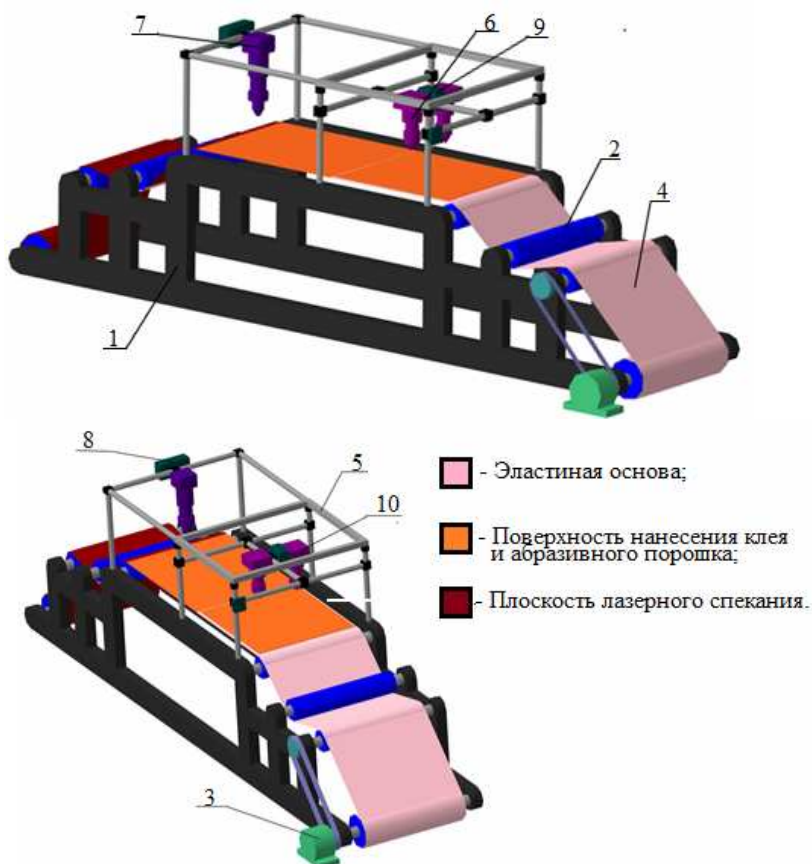


Рис. 6. Схема экспериментальной установки производства эластичного шлифовального инструмента:  
1 – станина (каркас); 2 – подающие валы; 3 – электродвигатель; 4 – эластичная основа;  
5 – каркас для перемещения сопла 1, 2; 6 – сопла, наносящие абразивный порошок; 7 – лазерный генератор;  
8 – моторы для перемещения сопла; 9 – электродвигатель; 10 – сопло, наносящее клей

Подающие валы 2, которые приводит в движение электродвигатель 3, зажимают эластичную основу 4, протягивают ее на конвейер. Над конвейером сопло 10 перемещается по каркасу 5 и наносит на

бумажную основу слой связующего вещества, в то же время сопло *б* наносит слой абразивной пудры. Данные операции повторяются неоднократно, в зависимости от того, какой уровень и угол зерна необходим. Уровень, геометрия и объем слоя вещества задается на компьютерной программе, что способствует желаемому точному распределению материалов на плоскость основы. Одновременно с этим лазерный генератор *7* запекает конструкцию зерен, ранее нанесённых 3D-печатью в трёх направлениях *X*, *Y*, *Z*. Последний этап – это скручивание готовой к применению шлифовальной ленты в рулоны.

На рисунке 7 представлена поэтапная схема формирования абразивных ориентированных зерен в процессе реализации технологии 3D-печати шлифовального инструмента на эластичной основе.

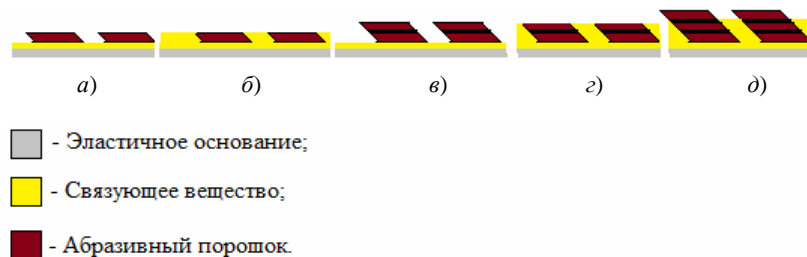


Рис. 7. Поэтапная печать строго ориентированного абразивного зерна:  
*а, в, д* – этапы печати абразивного порошка; *б, г* – этапы печати связующего вещества

Используя существующий опыт и известные аналоги для реализации технологии формирования абразивных частиц при 3D-печати [3], нами разработана экспериментальная конструкция сопла *б*, представленная на рисунке 8.

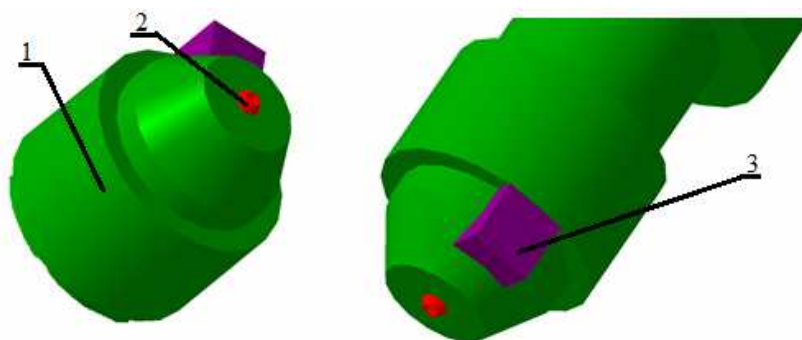


Рис. 8. Экспериментальное сопло для 3D-печати эластичного шлифовального инструмента:  
1 – каркас сопла; 2 – отверстия для подачи абразивной пудры;  
3 – датчик регулировки плотности потока абразивной пудры (технологии DSP)

В разработанных технологиях производства эластичного шлифовального инструмента в качестве абразивного материала используется пудра электрокорунда.

Новая представленная технология производства эластичного шлифовального инструмента с помощью технологии 3D-печати сможет стать достойной заменой и конкурентом существующим технологиям производства эластичного шлифовального инструмента.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Классификация 3D-принтеров и технологий 3D-печати [Электронный ресурс] // 3D-принтеры и 3D-печать. – Режим доступа: <http://3dmake.com/news/60-classification/>. – Дата доступа: 13.05.2015.
2. Завистовский, С.Э. Рационализация конструкции и особенности технологии изготовления оптимального абразивного инструмента / С.Э. Завистовский, А.С. Кириенко, Т.И. Завистовская // Современные методы проектирования машин. Расчет, конструирование и технология изготовления: сб. тр. первой Междунар. науч.-техн. конф., г. Минск, 11–13 дек. 2002 г. – Минск, 2002. – С. 27–31.
3. Муромцев, Д.Ю. Основы проектирования электронных средств / Д.Ю. Муромцев, И.В. Тюрин. Ч. 1. – Москва-Тамбов: ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012.

УДК 621.9.04

**ПРОБЛЕМЫ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ  
ШЛИФОВАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА НА ЭЛАСТИЧНОЙ ОСНОВЕ****П.Н. РОГОВ***(Представлено: А.С. КИРИЕНКО)*

*Представлен краткий обзор последних достижений абразивной промышленности, а также создания новых видов и типов инструментов, в частности на эластичной основе. Обсуждается роль и развитие инновационных технологий процессов шлифования и правки, приведен ряд примеров высокоэкономичной инженерной практики лидеров производства рассматриваемого инструмента.*

Невозможно в кратком обзоре представить весь спектр технических и технологических разработок абразивной индустрии лидеров по производству данного вида инструмента, абразивного станкостроения и исследований процессов шлифования. Круг рассматриваемых вопросов будет ограничен инновационными абразивными материалами, инструментами и технологическими методами. Не будут рассмотрены уже известные абразивные и правящие инструменты.

По данным *Thomson Reuters* (мировой лидер в области интеллектуальной информации для бизнеса и профессионалов), количество публикаций по материаловедению, прикладным технологиям и обработке за последние 30 лет увеличилось в 4 раза. По числу публикаций за последние 5 лет на первом месте находится Китай, на втором – США (69 % от числа китайских публикаций). Россия в этом списке занимает 9 место (14 %), Беларусь (1,2 %).

Шлифование – одна из старейших операций обработки в истории человечества. Уже в каменном веке люди использовали шлифовальные абразивные материалы – шлифовали камень для создания оружия и инструментов. В то время шлифовальным абразивным материалом служила каменная пыль, которую растирали палкой или отрезком кожи на поверхности обрабатываемого предмета. В более поздние времена на камнях из песчаника затачивали стальные лезвия. Такие шлифовальные абразивные инструменты, как алмаз и наждак, превращали алмазы в бриллианты. С развитием промышленности, особенно в конце XIX века, сильно выросла потребность в шлифовальных абразивных материалах. Каменщики Англии, Франции, Швеции и Америки быстро обогащались – в этих странах были найдены наиболее удачные по структуре шлифовальные точильные камни, которые продавались во всем мире. Рост спроса быстро поднял цены на природные абразивы, та как искусственных еще не изобрели. Высокие цены стимулировали поиск заменителей. В этом деле успеха достиг американский изобретатель Ачесон, который в 1890 году, расплавив в дуговой электропечи смесь кварцевого песка, каменного угля и каменной соли, получил кристаллы карбида кремния – в то время второго после алмазов по твердости вещества, что, фактически, послужило развитию современных *шлифовальных абразивных инструментов*.

Сегодня *абразивная обработка* стремительно завоевывает все новые и новые позиции – она уже не просто способ «доведения деталей», получения определенной чистоты поверхности, а серьезный конкурент операций, выполняемых на металлорежущих станках. На многих предприятиях заготовки из литейного цеха не идут на станки для точения, строгания и фрезерования, а подвергаются лишь абразивной обработке.

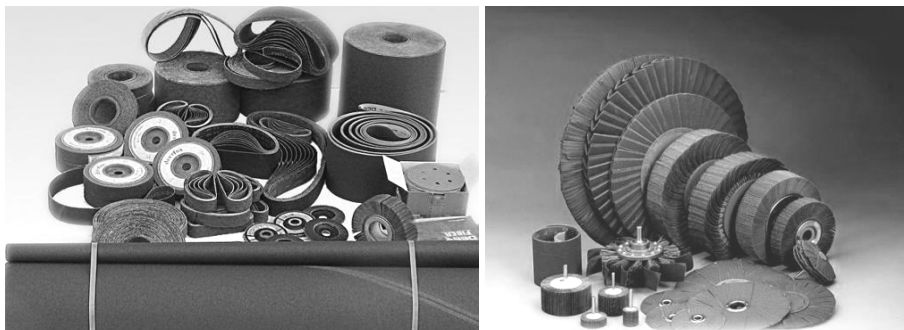


Рис. 1. Примеры эластичного шлифовального инструмента

Существует несколько методов нанесения абразивного покрытия.

**Традиционный механический метод.** Данный метод весьма прост и менее интересен. Абразивные частицы падают в произвольном порядке из насыпного станка с бункером-питателем, лишние частицы удаляются. При таком варианте нанесения получают наименее агрессивные частицы [2].

**Электростатический метод.** При традиционном электростатическом методе производство гибкого абразивного инструмента осуществляется на поточно-механизированных линиях. Формирование абразивного слоя происходит в электростатической камере. Основу затягивают на электростатический участок, где поддерживается высокая и влажная температура. Частицы абразива высыпают на конвейер, движущийся в контейнере, который двигает частицы под вращающейся тканью между основанием и электродами. Тем самым создается электрическое поле, которое вызывает своего рода мини-песчаную бурю [1]. Далее, отрицательно заряженные абразивные частицы вдавливаются в основу бумаги. Таким образом получается более жесткая наждачная бумага [3].

Все требования и свойства данного инструмента обеспечиваются существующими технологиями изготовления гибкого шлифовального инструмента, однако они позволяют получить лишь упорядоченное хаотическое расположение абразива, что приводит к снижению точности, прижогам обрабатываемой поверхности из-за неуправляемости процесса.

Исходя из этого, становится актуальной разработка технологии, позволяющая изготавливать ленточный шлифовальный инструмент с ориентацией зерен абразива в рабочей поверхности и измененной структурой поверхности инструмента, что обеспечивает повышение его режущей способности и износостойкости. Предлагаемый способ называется «способ строго ориентированного электростатического формообразования рабочей поверхности гибкого абразивного инструмента» [3].

**Способ строго ориентированного электростатического формообразования рабочей поверхности гибкого абразивного инструмента.** Предлагаемая технология электростатического формообразования рабочей поверхности гибкого абразивного инструмента осуществляется в несколько этапов:

- аппретирование и первичная сушка;
- проклеенная лента проходит через электростатическое поле, в котором абразивные частички ориентируются, взлетают и наклеиваются на основу;
- лента просушивается;
- наносится закрепляющий слой;
- лента проходит окончательную сушку.

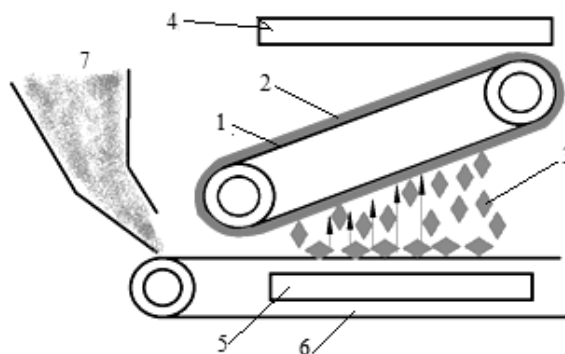


Рис. 2. Способ строго ориентированного электростатического формообразования рабочей поверхности гибкого абразивного инструмента:

- 1 – эластичная основа шлифовальной шкурки; 2 – связующее вещество (клей);  
3 – абразив; 4 – катод (-); 5 – анод (+); 6 – конвейер; 7 – бункер

Предлагаемый способ электростатического формообразования абразивного покрытия с ориентированными зернами позволяет повысить износостойкость и режущую способность гибкого абразивного инструмента путем снижения «засаливания» его поверхности продуктами обработки и износа. Для снижения этого фактора у большинства инструментов существуют стружечные канавки. При получении однослойного ориентированного покрытия гибкого шлифовального инструмента для дополнительного увеличения износостойкости, экономии режущего материала и повышения точности обработки предлагается ряд форм рабочих поверхностей покрытий, обладающих стружечными канавками. Основные формами предлагаемых поверхностей покрытий – сетчатая, шевронная, Z-образная и периодические с разными профилями.

**Нанесение абразивного порошка с помощью технологий 3D-печати.** В настоящее время этот способ не используется в производстве данного инструмента, но находится в стадии разработки.

Предполагаемый инновационный способ позволит:

- увеличить производительность шлифования поверхности в 1,5 раза;
- повысить износостойкость инструмента в 1,5...2 раза;
- сократить экономические затраты на обработку материала в 1,2...1,5 раз.

Основываясь на данных, полученных в результате анализа литературы и работы с Интернет-ресурсами, попытаемся дать перечень (возможно, неполный) путей инновационных методов, направленных на достижение высокой производительности и точности шлифования:

- 1) скоростное и сверхскоростное шлифование [4];
- 2) применение систем контроля скорости вращения шпинделя шлифовального станка [4];
- 3) использование воздушных и гидростатических шпинделей шлифовальных станков [5]. Высокоточная установка прецизионных станков, исключая их вибрацию и применение высокопрочных материалов для фундамента станков [4];
- 4) применение специальных конструкций сопел для подачи охлаждающей жидкости. В настоящее время широко используются сопла Coherent Jet Nozzles [6] с лазерной системой управления и подачей охлаждения, а также комбинации нескольких сопел, называемых «игольчатыми» или «многоточечными» [5];
- 5) применение рефрактометров и рН-контрольных систем для мониторинга смазочно-охлаждающей жидкости в процессе обработки [4];
- 6) использование в охлаждающей системе фильтров, позволяющих фильтровать микронные фракции;
- 7) 100 %-ная автоматическая динамическая балансировка шлифовального инструмента [6];
- 8) применение новых методов правки и шлифования, в частности обеспечивающего наноточность ELID-метода, ультразвукового и лазерного шлифования (SLC) [5];
- 9) применение шлифовального инструмента, оснащенного температурными и иными сенсорами, контролирующими процесс шлифования [5];
- 10) применение различных основ (на бумажной либо на тканевой основе) для нанесения абразивного порошка;
- 11) использование технологии 3D-печати в производстве шлифовального инструмента.

**Тенденции развития скорости шлифования.** К 1995 году средняя скорость шлифования эластичными лентами на предприятиях США составляла 120 м/с, а к 2000 – уже 160 м/с. В настоящее время сообщается о создании и внедрении в производство станков, обрабатывающих высокопрочный чугун со скоростью 200 м/с. Эксперименты со скоростью шлифования до 500 м/с проводились с 1991 года [7], однако применение столь высоких скоростей в действующем производстве сдерживается требованиями безопасности. В связи с этим возникают вопросы обеспечения прочности шлифовального инструмента. В работах [4] представлены новые расчетные методы оценки прочности высокоскоростных инструментов. Не останавливаясь подробно на различных конструкциях высокоскоростных шлифовальных инструментов [5], отметим, что серьезно стоит вопрос выбора основы для нанесения абразивного порошка. В настоящее время компания *Erwin Junker Maschinenfabrik* проводят исследования по данной разработке.

**Пути обеспечения наноточности.** В рамках краткого обзора невозможно описать даже малую часть методов обеспечения наноточности обработки. Остановимся лишь на некоторых из них. Компания *Rollmatic* в 2010 году представила линию сверхвысокоскоростных шестикоординатных станков, которые используются, в частности, для изготовления и заточки режущих инструментов диаметром до 0,1 мм.

Для достижения наноточности обработки *Rollmatic* предлагает использовать выпускаемые компанией специальные ленточные круги *Fluss Line*. Эта линия кругов имеет инновационные физико-механические свойства. К примеру, корпус круга состоит частично из алюминия, а частично из каучука. Каучуковая подложка, расположенная под алмазосносным слоем, гасит микровибрации, отслеживает изгиб и микроповорот заготовки в процессе обработки [7].

В заключение заметим, что данная работа не претендует на всеобщий охват современных инструментов и технологий шлифования. Как отмечалось выше, большой объем информации не был рассмотрен вообще, а представленная в обзоре сокращена до минимума. Тем, кто интересуется процессами абразивной обработки, рекомендуем посетить сайты *Abrasives Mall* и *ASME*, где дана обширная информация обо всех аспектах процессов шлифования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Завистовский, С.Э. Конструкторско-технологическое обеспечение качества отделочно-абразивной обработки сложно-профильных изделий / С.Э. Завистовский // Теоретические и технологические основы упрочнения и восстановления изделий машиностроения: материалы междунар. науч.-техн. конф. «Упрочнение, восстановление и ремонт на рубеже веков». – Новополоцк, 2001. – С. 657–660.
2. Завистовский, С.Э. Технология изготовления специального ленточного абразивного инструмента / С.Э. Завистовский, А.С. Кириенко // Прогрессивные технологии, технологические процессы и оборудование: материалы междунар. науч.-техн. конф. – Могилев, 2003. – С. 156–158.
3. Особенности формообразования мелкодисперсных порошков абразивных материалов в электростатическом поле / С.Э. Завистовский [и др.] // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия: 6-я междунар. науч.-техн. конф. – Минск, 2004. – С. 308–309.

4. Левко, В.А. Интенсификация процессов абразивной обработки деталей: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.А. Левко. – Красноярск: САА, 1998. – 20 с.
5. Лубинин, М.А. Разработка и внедрение технологии экструзионного шлифования труднодоступных поверхностей деталей: автореф. дис. ... канд. техн. наук / М.А. Лубинин. – М.: НИИТМ, 1987. – 18 с.
6. Суслов, А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин / А.Г. Суслов. – М.: Машиностроение, 2000. – 320 с.
7. Сысоев, А.С. Абразивная обработка деталей / А.С. Сысоев, С.К. Сысоев, М.А. Лубин // Технология машиностроения. – 2002. – № 4. – С. 28–32.

УДК 621.9.04

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ 3D-ПЕЧАТИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ШЛИФОВАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

**П.Н. РОГОВ**

(Представлено: А.С. КИРИЕНКО)

*Анализируются основные технологии 3D-печати. Рассматривается вопрос о наиболее предпочтительном способе 3D-печати для создания эластичного шлифовального инструмента с ориентированными зёрнами периодического действия. Представлены тенденции развития шлифовального инструмента при помощи инновационных технологий, а именно с помощью технологии 3D-печати.*

При трехмерной печати Трёхмерный объект формируется слой за слоем, «строительным» материалом служат полимеры, которые накладываются друг на друга, образуя монолитную структуру.

3D-принтер – это устройство, которое создаёт объёмный предмет на основе виртуальной 3D-модели. В отличие от обычного принтера, который выводит информацию на лист бумаги, 3D-принтер позволяет выводить трёхмерную информацию, то есть создавать определённые физические объекты. В основе технологии 3D-печати лежит принцип послойного создания (выращивания) твёрдой модели.

На сегодняшний день существуют различные модели 3D-принтеров, которые способны работать с разными расходными материалами. Это означает, что при помощи трехмерной печати можно изготавливать любые детали для механизмов, которые смогут выдерживать высокие нагрузки, и не уступают деталям, сделанным традиционным способом.

Переоценить значение 3D-печати практически невозможно – сегодня продукция, созданная посредством трехмерной печати, задействована во всех сферах от стоматологии то инженерии. Такие устройства помогают изготовителям авторских работ создавать художественные изделия. Родители в домашних условиях смогут обеспечить ребенку владение уникальными игрушками, второго экземпляра которых не найдется ни у кого. Некоторые возможности печати 3D-принтера представлены на рисунке 1.

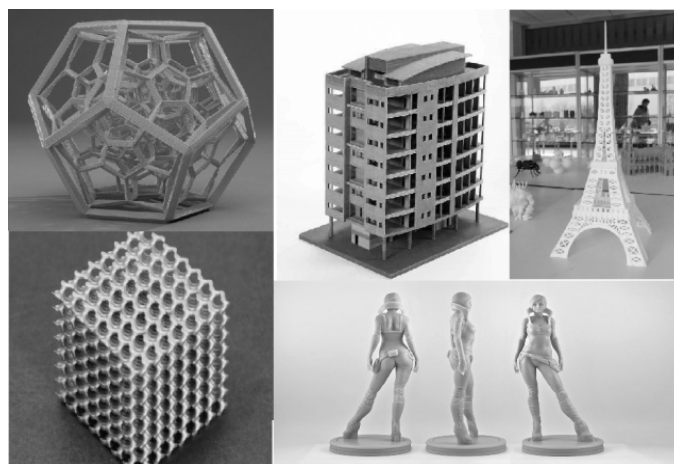


Рис. 1. Возможности печати 3D-принтера

В процессе создания трехмерного объекта может быть использовано несколько видов технологий. Самыми известными видами считаются такие методы, как лазерная стереолитография, лазерное спека-



ние, наплавление, электронно-лучевая плавка и ламинирование. Однако разработки в этой области не останавливаются. Есть вероятность, что в ближайшем будущем, технологии, которые используются сейчас, будут заменены на более усовершенствованные.

О главном назначении всех технологий 3D-печати говорит их часто употребляемое общее название – быстрое прототипирование (RP), быстрое изготовление прототипов. Сегодня без 3D-принтеров не могут обойтись медицинское моделирование (протезирование, моделирование органов и пр.), обувная промышленность, мелкосерийное литейное производство, картография, геодезия, ландшафтный и архитектурный дизайн и многие другие отрасли. В машиностроении, автомобильной или авиационной промышленности проведение конструкторских работ без технологий быстрого прототипирования уже не происходит. Пищевая промышленность, ювелирное дело – представители этой старинной профессии чуть ли не первыми взяли в RP-технологии на вооружение. Не оставляют без внимания RP-технологии и художники-скульпторы.

Технологии аддитивного производства также используются при изготовлении медицинских изделий, например, на стереолитографических принтерах печатают имплантаты для стоматологического протезирования. Кроме того, на 3D-принтерах получают искусственные фрагменты скелета, костей, черепа и хрящей человека. Перспективное направление – использование в качестве материала различных типов клеток человеческого организма, благодаря чему появляется возможность печати тканей и органов для трансплантации.

Сегодня созданы несколько принтеров, способных печатать объекты очень точно (в сто микрон). Подобные аппараты способны создать сравнительно сложные 3D-объекты – это и детские игрушки, и сложные архитектурные модели. Подобные принтеры дают возможность ученым не просто анализировать прототип, но и потрогать его на ощупь. В ювелирном деле 3D-принтер используется, чтобы создавать отливочные формы, археологи используют, чтобы воссоздавать первоначальный вид фрагментов.

#### Принцип работы 3D-принтера

3D-печать может осуществляться разными способами и с использованием различных материалов, но в основе любого из них лежит принцип послойного создания (выращивания) твёрдого объекта.

Принцип работы 3D-принтера (рис. 2) выглядит следующим образом:

- 1) на компьютере в специальной программе рисуют 3D-шаблон объекта, который будет распечатан на 3D-принтере;
- 2) специальное программное обеспечение (ПО) обрабатывает 3D-модель путём деления её на множество поперечных слоёв;
- 3) дозирующая камера наносит слоями композитный порошок на дно специальной камеры;
- 4) ось принтера распределяет порошок тонким слоем;
- 5) струйная печатная головка наносит бесцветный клей в то место, куда будет нанесен следующий слой;
- 6) следующий слой порошка «склеивается» с предыдущим, и процесс повторяется до тех пор, пока объект не будет полностью сформирован.

В разных технологиях вместо клея может быть использован сплавляющий лазер либо ультрафиолет.

Кроме этого принтер абсолютно лишен так называемого «человеческого фактора». То есть машина не совершает ошибок, благодаря чему изделия получаются абсолютно точными и идентичными оригиналу.

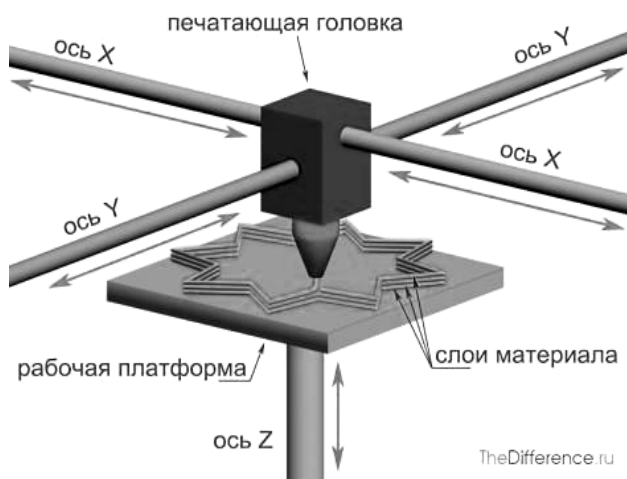


Рис. 2. Схема печати 3D-принтера



Различают 3D-принтеры, печатающие пластиком и металлом.

#### *Принцип работы 3D принтер по пластику*

Принцип работы такого принтера заключается в том, что печатающая головка (так называемый экструдер) сильно нагревается и плавит пластик, который подается в виде литой трубки. Далее расплавленный материал подается с нижней части печатающей головки и помещается в нужных местах. Для правильной работы принтера необходим специальный файл, который содержит всю информацию о создаваемой модели. В зависимости от модели принтер может быть подключен к ПК или работать автономно.

#### *Принцип работы 3D-принтера по металлу:*

Как и любой другой 3D-принтер, устройства, печатающие металлом, также управляются при помощи компьютера. Кроме этого используется такой же принцип послойного создания модели. Однако в отличие от принтера, печатающего пластиком, 3D-принтер по металлу не плавит расходный материал.

Принцип работы заключается в следующем. Печатающая головка наносит специальное связующее вещество (клей) в местах, указанных компьютером. После этого вал наносит тончайший слой металлической пудры на всю рабочую площадь. В местах, где нанесен «клей», металлическая пудра склеивается и затвердевает. Далее печатающая головка снова наносит «клей», после чего вал насыпает еще один тончайший слой металлического порошка и так далее.

#### **Виды 3D печати**

Способов трехмерной печати очень много, основные отличия их друг от друга заключаются в принципах формирования слоев и их соединения между собой, а также используемых в работе материалах. Рассмотрим основные технологии аддитивного производства.

##### **1. Экструзионная печать**

Этот метод также называют послойным наплавлением материала, в качестве которого используется термопластик. Устройства, работающие в соответствии с данной технологией, еще именуют FDM-принтерами, они являются наиболее распространенными в наши дни.

Основной узел FDM-принтера – печатающая головка-экструдер. Картридж для такого устройства представляет собой термопластичный полимер в виде нити, намотанной на катушку. В экструдере путем вращения роликовых элементов рабочий материал подается в зону нагрева, где он расплавляется и выдавливается через сопло, формируя элементарный фрагмент объекта. После печати всего текущего контура платформа перемещается вниз и начинается нанесение нового слоя.

##### **2. Порошковые способы печати**

Технологии этой группы объединяет идея создания цельной структуры из порошковых материалов. Одной из разновидностей является струйная печать, основанная на послойном нанесении компонента, имеющего консистенцию пудры, отдельные фрагменты которого затем пропитываются клеящим составом. Материалы здесь могут быть самые разнообразные: бумага, дерево, минеральные смеси, металлы, пластмассы. Единственное условие – возможность их измельчения до порошкообразного состояния.

##### **3. Фотополимеризационная печать**

Данное название объединяет два способа создания трехмерных объектов из жидких веществ одного класса – фотополимеров, застывающих при воздействии на них ультрафиолетового излучения, – лазерную стереолитографию и цифровую светодиодную проекцию.

Рабочая область погружается в жидкую фотополимерную смолу на уровень одного слоя. Лазерный луч вычерчивает сечение будущего объекта в соответствии с его трехмерной моделью, облученные области материала затвердевают. Затем основание опускается в ванну с жидкой смолой на величину следующего слоя, и его построение осуществляется аналогично предыдущему. Процесс повторяется до наращивания цельного объекта. После этого с изделия смываются остатки материала.

##### **4. Ламинирование**

Эта технология заключается в изготовлении объемных объектов из листов бумаги, пластиковых пленок, фольги. Материал с нанесенным на него клейким покрытием подается на рабочую платформу или нижние слои детали, при прохождении по нему нагретого ролика осуществляется сцепление поверхностей. Затем контур слоя вырезается проецируемым лазерным лучом, который также разделяет остатки листового материала на мелкие фрагменты для облегчения их удаления.

#### **Тенденция развития технологии изготовления шлифовального инструмента**

Идеей предлагаемой гипотезы является разработка механизма получения поверхностных периодических слоев эластичных инструментов из порошков абразива с использованием ориентации частиц в электростатическом поле, 3D-печати слоев и последующего их спекания. Предлагается использовать данный механизм для создания на его основе технологии и оборудования для изготовления высокопроизводительного эластичного шлифовального инструмента и освоение его опытно-промышленного производства.

Ориентированные зерна абразива обладают повышенной изнашивающей способностью, поскольку резание материала происходит по достаточно хорошо изученным законам лезвийного резания. Это является предпосылкой использования шлифовального инструмента периодического действия с регулированием ориентации зерен абразива взамен дорогостоящих абразивных шкур на основе синтетиче-

ского алмаза, эльбора и т.п. сверхтвердых материалов. Кроме того, особенностью разрабатываемой технологии является 3D-печать, представляющая возможность нанесения лишь одного слоя абразивного порошка, что значительно повысит экономичность его использования в промышленности.

Научной новизной предлагаемой гипотезы является:

- механизм регулирования ориентации частиц порошков, в периодических абразив содержащих слоях с использованием электростатического поля;
- технология получения эластичного шлифовального инструмента периодического действия с регулированием ориентации зерен абразива путем 3D-печати.

Технической новизной проекта является то, что для достижения поставленной цели будет использовано электростатическое поле, налагаемое на процесс свободного осаждения абразивных порошков, 3D-печать и последующее лазерное спекание. Это потребует разработать теоретические основы воздействия электростатического поля на взвешенные частицы абразива, что явится основой разработки специального оборудования для формирования абразивного слоя с указанными свойствами.

Актуальность – проект относится к виду технологических инноваций и направлен на разработку технологии и оборудования для 3D-печати эластичного инструмента периодического действия с ориентированными зёрнами абразива. Использование такого инструмента при обработке конструкционных материалов приведет к повышению производительности и качества отделочной обработки. Эксплуатационные характеристики такого инструмента значительно выше за счет строгой ориентированности получаемого 3D-печатью поверхностного абразивосодержащего периодического слоя в электростатическом поле. В этой связи исследования в данной области являются инновационными и актуальными.

Технологический процесс производства эластичного абразивного инструмента будет основан на принципе работы 3D принтеров – порошковый и ламинированный, а также на создании электростатического поля, для ориентированного распределения абразивного порошка.

#### **Технический процесс изготовления шлифшкурки:**

- 1) соединение составляющих абразивного порошка (электрокорунд, оксид железа, минеральный криолит, добавки и примеси) с порошкообразной и жидкой смолой;
- 2) нанесение первого слоя порошка, который играет роль основания шлифшкурки;
- 3) нанесение второго слоя порошка – абразивный порошок, смешанный до этого со смолой;
- 4) лазерное спекание 20...40 % абразивного порошка, для закалки абразива.

Разработанный технический процесс имеет следующие преимущества:

- малая себестоимость предложенного процесса изготовления абразивного инструмента по сравнению с уже существующими процессами производства;
- малое количество использования станочного оборудования, что позволит экономить электроэнергию, а также материальные средства;
- низкая стоимость готового изделия;
- повышение качества обработки и лучшая производительность абразивного инструмента, который сможет составить конкуренцию на мировом рынке;
- режущая способность такого инструмента выше на 10...40 % традиционных аналогов эластичных шлифовальных инструментов;
- износостойкость нового инструмента в 1,3...1,5 раза выше известных аналогов;
- повышение производительности шлифовальной обработки в 1,5 раза, за счет наличия строгой ориентации зерен абразива и интенсификации режимов резания;
- повышение качества обработанной поверхности на 10...30 % за счет обработки ориентированными абразивными зёрнами и оптимизации режимов резания;
- ресурсосберегающая и материалоемкая технология получения инструмента. (Снижен расход дорогостоящих абразивных материалов, за счет формирования однослойного ориентированного покрытия рабочей поверхности инструмента);
- налаживание предприятия, аналогов которого нет в Республике Беларусь, что позволит снизить импорт абразивного инструмента из зарубежных стран.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. 3D-принтеры и 3D – печать [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://3dpmake.com>. – Дата доступа: 13.05.2015.
2. Завистовский, С.Э. Рационализация конструкции и особенности технологии изготовления оптимального абразивного инструмента / С.Э. Завистовский, А.С. Кириенко, Т.И. Завистовская // Современные методы проектирования машин. Расчет, конструирование и технология изготовления: сб. тр. первой междунар. науч.-техн. конф., Минск, 11–13 дек. 2002 г. – Минск, 2012. – С. 27–31.
3. Муромцев, Д.Ю. Основы проектирования электронных средств / Д.Ю. Муромцев, И.В. Тюрин. Ч. 1. – Москва-Тамбов: ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012.

УДК 621.9.048.6:371.69

ТЕОРИИ ВИБРАЦИЙ В СТАНОЧНОЙ СИСТЕМЕ

А.И. ЗАБАГОНСКИЙ

(Представлено: канд. техн. наук, доц. А.М. ДОЛГИХ)

Представлен обзор жёсткости системы станок – инструмент – заготовка. Предлагается общая теория причин возникновения вибраций и стука, Определение и классификация причин возникновения неустойчивости процесса обработки резанием предлагается на основе систематизации различных обрабатываемых систем с вероятностью появления вибраций и их особенности.

**Назначение системы станок – инструмент – заготовка.** С точки зрения процесса обработки резанием, главная функция реза – точно и постоянно контролировать точку контакта между режущим инструментом и обработанной поверхностью, «интерфейсом обработки».

На рисунке 1 показан стандартный контур системы станок – инструмент – заготовка. Эта система достаточно сложная и включает: режущий инструмент; державку; направляющие, используемые для направления движения инструмента и заготовки; шпиндель, держащий заготовку или инструмент; приспособления (патрон/цанга и другие).

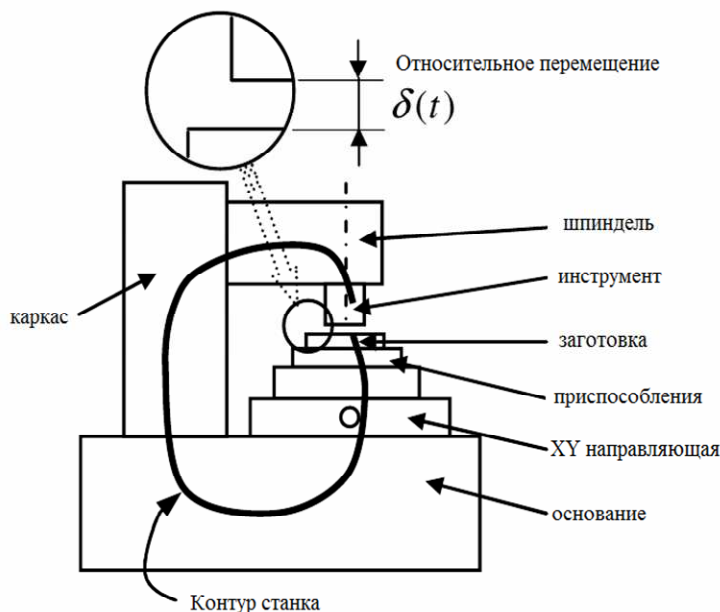


Рис. 1. Обычный контур станка

Если станок принять как реальный динамический контур, имеющий как внутренние, так и внешние колебания, процесс обработки должен быть также вписан в этот контур, как показано на рисунке 2.

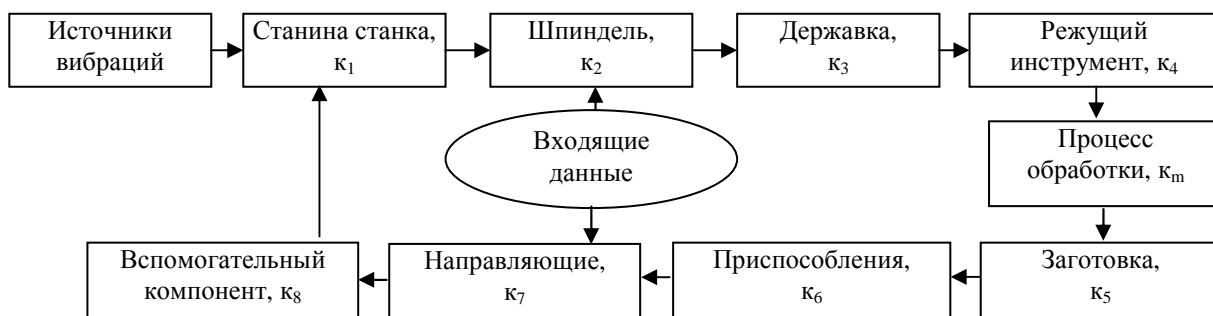


Рис. 2. Контур станок-инструмент-заготовка, получающий сообщение о процессе обработки резанием и динамического эффекта

Жёсткость можно определить как способность структуры сопротивляться деформации или удерживать стационарную позицию под приложенной нагрузкой. В то время как жёсткость отдельных индивидуальных компонентов, например, таких как шпиндель и направляющие, важна. Этот контур жёсткости в станочной системе определяет производительность процесса обработки резанием и формирование точной обработанной поверхности, иными словами, точность относительного перемещения между заготовкой и режущим инструментом может привести к ошибкам обработки.

**Статический контур жёсткости.** Статический контур жёсткости станка определяет эффективность всего контура станка под действием статической или динамической нагрузки, которая состоит из сил тяжести и составляющих сил резания в станочной системе.

Упрощённый аналоговый подход для получения статического контура жёсткости – это рассмотрение отдельных элементов станка как множество последовательных или параллельных пружинных соединений, так что жёсткость статического контура может быть получена как сумма жёсткости каждого индивидуального элемента [1].

$$x_{\text{статический контур}} = \frac{F}{k_{\text{статический контур}}} = \frac{1}{\underbrace{k_{c1} + k_{c2} + \dots + k_{cn}}_{\text{соед. Последовательное}}} + \frac{1}{\underbrace{k_{p1} + k_{p2} + \dots + k_{pn}}_{\text{соед. параллельное}}}. \quad (1)$$

Как правило, правильно спроектированная система станок – инструмент – заготовка может иметь статический контур с жёсткостью, равной 50 Н/мкм; значение в 500 Н/мкм является предпочтительной для станков, предназначенных для черновой обработки в особенности. Показатель жёсткости на уровне около 10 Н/мкм недостаточен при обработке на станках повышенной и особо высокой точности. Статический контур жёсткости станка может быть спрогнозирован на ранней стадии путём аналитического и численного методов определения жесткости, что позволит получить оптимальную конструкцию и обеспечить необходимые его улучшения с целью удовлетворения торгового спроса.

**Динамический контур жёсткости и деформации.** Помимо статической нагрузки, металлорежущий станок постоянно подвергается воздействию динамических сил, следовательно, составляющие структуры станка будут деформироваться в соответствии с амплитудой и частотой, возбуждающей динамическую нагрузку, которая определяется динамической жёсткостью. Динамическая жёсткость системы СПИД может быть измерена с использованием нагрузки возбуждения с частотой, равной собственной затухающей частоте конструкции.

Уравнения (2)–(5) обеспечивают приблизительный расчет динамической жёсткости  $k_{\text{дин}}$  и величины деформации  $x_{\text{дин}}$ .

$$x_{\text{дин}} = \frac{\tilde{F}}{k_{\text{дин}}}, \quad (2)$$

$$k_{\text{дин}} = \frac{k_{\text{стат}}}{Q}, \quad (3)$$

где  $\tilde{F}$  – динамическая нагрузка, прикладываемая к станку;  $k_{\text{стат}}$  – статическая жёсткость станка;  $Q$  – уточняющий коэффициент, который может быть рассчитан следующим образом:

$$Q = \frac{1}{2\zeta} = \frac{1}{2 \frac{c}{2M\omega_0}} = \frac{M\omega_0}{c}, \quad (4)$$

где  $M$  и  $c$  – масса и частота затухания;  $\omega_0$  – собственная частота,  $\omega_0 = \sqrt{\frac{k_{\text{стат}}}{M}}$ ;  $\zeta$  – коэффициент демп-

фирования,  $\zeta = \frac{c}{2M\omega_0}$ .

Таким образом

$$x_{\text{дин}} = \frac{\tilde{F}}{k_{\text{дин}}} = \tilde{F} \frac{1}{c\omega_0} = F \frac{1}{c} \sqrt{\frac{M}{k_{\text{стат}}}}. \quad (5)$$

Для того чтобы предсказать и просчитать жёсткость динамического контура или поведение всего контура станочной системы динамической модели, включающей все элементы в станочном контуре, не-

обходимо выбрать метод. Метод конечных элементов широко используется для создания динамической модели станка и обеспечивает решение с достаточной точностью, но требует больше времени в виду сложности система станка. С другой стороны, альтернативный метод был предложен для возможности предсказания динамики поведения станков. Например, предложен метод синтеза для предсказания динамического поведения всей станочной системы [2], хотя подход имеет ограничение по точности моделирования.

**Свободные вибрации в системе станка.** Внешний источник энергии применяется для инициирования вибрации, затем его удаляют, в результате мы получаем вибрации свободных колебаний. При отсутствии неконсервативных сил свободные колебания поддерживают себя и являются периодическими.

Вибрации станков под воздействием пульсирующих сил можно рассматривать как свободные колебания. Источники пульсирующих возбудений в станках включают в себя:

- контактные силы резания, когда обработка резанием производится фрезой или резцом-летучкой;
- силы инерции возвратно-поступательного движения деталей;
- передача колебаний из станины;
- дефекты материалов.

При рассмотрении точки вершины токарного резца в качестве примера имеют место некоторые существенные недостатки, такие как полости, что показано на рисунке 3, а. Если режущий инструмент берется в качестве объекта исследования, он может быть упрощенно представлен как единая система контактных пружин свободной вибрации (рис. 3, б). Это идеальная модель, но в реальной системе всё гораздо сложнее. Во-первых, рассмотрим случай незатухающих вибраций свободной системы.

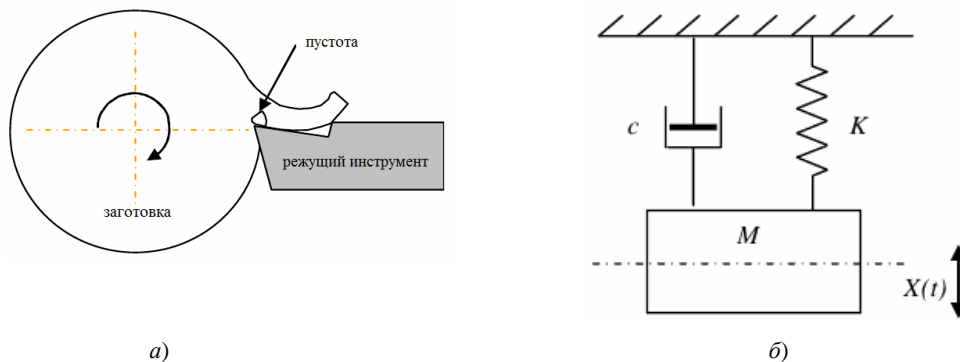


Рис. 3. Токарный процесс с дефектом материала (а); единая система свободных вибраций (б)

Общий вид дифференциального уравнения для незатухающих свободных колебаний:

$$M\ddot{x} + Kx = 0. \quad (6)$$

где  $M$  и  $K$  это масса и жесткость, которые определяются при выводе дифференциального уравнения.

Уравнение (6) определяет следующие начальные условия вида:

$$\begin{aligned} x(0) &= x_0; \\ \dot{x}(0) &= \dot{x}_0. \end{aligned}$$

Решение уравнения (6) имеет вид:

$$x(t) = x_0 \cos \omega_n t + \frac{\dot{x}_0}{\omega_n} \sin \omega_n t, \quad (7)$$

где  $x$  – смещение в момент времени  $t$ ;  $x_0$  – начальное смещение массы;  $\omega_n = \sqrt{\frac{K}{M}}$  – собственная частота незатухания.

Существует небольшое увеличение сложности системы, в то время как демпфирующий элемент введён в масс-пружинную систему. При этом учитываются только вязкое затухание. Общий вид дифференциального уравнения для смещения затухающих свободных колебаний теперь имеет вид:

$$M\ddot{x} + c\dot{x} + Kx = 0, \quad (8)$$

где  $c$  – затухание системы.

Разделив уравнение (8) на  $M$ , имеем:

$$\ddot{x} + \frac{c}{M} \dot{x} + \frac{K}{M} x = 0. \quad (9)$$

Общее решение уравнения (9) получается в предположении, что

$$x(t) = Be^{\alpha t}. \quad (10)$$

Замена уравнения (10) в уравнении (9) дает следующее квадратное уравнение для  $\alpha$ :

$$\alpha^2 + \frac{c}{M} \alpha + \frac{K}{M} = 0. \quad (11)$$

Квадратичная формула используется для получения корней уравнения (11):

$$\alpha_{1,2} = -\frac{c}{2M} \pm \sqrt{\left(\frac{c}{2M}\right)^2 - \frac{K}{M}}. \quad (12)$$

Математическая форма решения уравнения (9) и физического поведения системы зависит от знака дискриминанта уравнения (12). В случае если дискриминант равен нулю, решение представляет собой особый случай и имеет место только для определенной комбинации параметров. Когда это происходит, система должна критически затухнуть.

Для фиксированных значений  $K$  и  $M$ , значение  $c$ , которое вызывает критическое затухание, называется критическим коэффициентом демпфирования,  $c_c$ :

$$c_c = 2\sqrt{KM}. \quad (13)$$

Безразмерный коэффициент демпфирования  $\zeta$  определяется как отношение фактического значения  $c$ , к критическому коэффициенту затухания

$$\zeta = \frac{c}{c_c} = \frac{c}{2\sqrt{KM}}. \quad (14)$$

Отношение затухания является неотъемлемым свойством параметров системы.

Используя уравнений (13) и (14), уравнение (12) переписывается в терминах  $\zeta$  и  $\omega_n$  как:

$$\alpha_{1,2} = -\zeta\omega_n \pm \omega_n\sqrt{\zeta^2 - 1}. \quad (15)$$

Таким образом, общее решение уравнения (9)

$$x(t) = e^{-\zeta\omega_n t} (C_1 e^{-\omega_n\sqrt{\zeta^2 - 1}t} + C_2 e^{-\omega_n\sqrt{\zeta^2 - 1}t}), \quad (16)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  – произвольные постоянные интегрирования.

Из уравнения (16) очевидно, что характер движения зависит от величины  $\zeta$ .

Уравнение (9) тогда имеет вид

$$\ddot{x} + 2\zeta\omega_n \dot{x} + \omega_n^2 x = 0. \quad (17)$$

Это стандартная форма дифференциального уравнения, регулирующего свободные колебания с затуханием.

Есть разные условия демпфирования: критические, избыточное и затухающее. Подробное обсуждение этих трех случаев можно найти в большинстве справочников [3; 4].

#### *Вынужденные вибрации*

Если колебания происходят в присутствии внешнего источника энергии, вибрации называются вынужденными колебаниями. Поведение системы претерпевающей вынужденные колебания зависит от типа источника внешнего возбуждения. Есть несколько типов внешних сил, включая гармонические, периодические, негармонические, шаговые, импульсные и произвольные силы и т.д. Если возбуждение является периодическим, вынужденные колебания линейной системы также являются периодическими.

Учитывая внутренний процесс измельчения, как показано на рисунке 4,  $\bar{b}$ , в котором шпиндель не сбалансирован, в результате дисбаланса силы допускаются гармонические колебания в виде  $F\sin(\omega t + \varphi)$ .

Эта сила будет вибрировать шлифовальный круг относительно заготовки и в результате вынужденных колебаний.

Опять же, незатухающая масс-пружинная система гармонических сил рассматривается, как показано на рисунке 4, б.

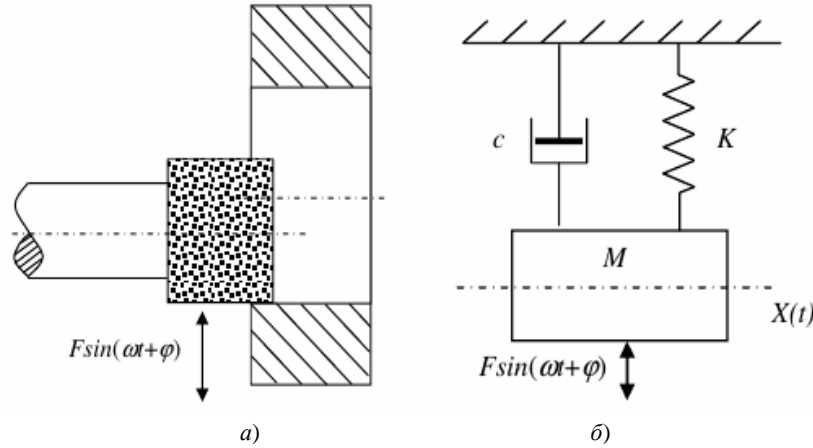


Рис. 4. Процесс шлифования (а); единая система вынужденной вибрации (б)

Дифференциальное уравнение для незатухающих вынужденных колебаний, подлежащих возбуждения гармонического силы:

$$\ddot{x} + \omega_n^2 x = \frac{F}{M} \sin(\omega t + \varphi). \tag{18}$$

Если частота возбуждения  $\omega$  не равна  $\omega_n$ , следующее уравнение используется для получения частного решения уравнения (18):

$$x_p(t) = \frac{F}{M(\omega_n^2 - \omega^2)} \sin(\omega t + \varphi). \tag{19}$$

Однородное решение добавим к частному решению с применением начальных условий, получаем:

$$x_p(t) = \left[ x_0 - \frac{F \cdot \sin \varphi}{M(\omega_n^2 - \omega^2)} \right] \cos(\omega_n t) + \frac{1}{\omega_n} \left[ \dot{x}_0 - \frac{F \omega \cdot \cos \varphi}{M(\omega_n^2 - \omega^2)} \right] \sin(\omega_n t) + \frac{F}{M(\omega_n^2 - \omega^2)} \sin(\omega_n t + \varphi). \tag{20}$$

В затухающей системе принудительной вибрации с гармоническим возбуждением стандартная форма дифференциального уравнения:

$$\ddot{x} + 2\zeta\omega_n \dot{x} + \omega_n^2 x = \frac{F}{M} \sin(\omega t + \varphi). \tag{21}$$

Частное решение уравнения (21) имеет вид

$$x_p(t) = \frac{F}{M \left[ (\omega_n^2 - \omega^2) + 2(\zeta\omega\omega_n)^2 \right]} \left[ -2\zeta\omega\omega_n \cos(\omega t + \varphi) + (\omega_n^2 - \omega^2) \sin(\omega_n t + \varphi) \right]. \tag{22}$$

Уравнение (22) можно переписать в следующем виде:

$$x_p(t) = A \sin(\omega t + \varphi - \phi), \tag{23}$$

где  $A = \frac{F}{M \sqrt{(\omega_n^2 - \omega^2) + 2(\zeta\omega\omega_n)^2}}$ ;  $\phi = \tan^{-1} \left( \frac{2\zeta\omega\omega_n}{\omega_n^2 - \omega^2} \right)$ ;  $A$  – амплитуда вынужденной реакции;  $\phi$  – фазовый угол между ответной реакцией и возбуждением.

Вынужденные колебания в станках могут быть получены из двух видов источников энергии – внутренних и внешних источников вибрации. Внешние источники вибрации, такие как сейсмические волны, как правило, могут передавать вибрации на структуру станка с помощью станины станка.

Разработка и использование эффективных виброизоляторов смогут устранить или свести к минимуму вынужденные колебания, вызванные внешними источниками вибрации.

Известно много внутренних источников вибрации, которые вызывают вынужденные колебания. Например, несбалансированный высокоскоростной шпиндель – ударной силой в процессах обработки и силой инерции.

Таким образом, предложенные методики расчеты статической и динамической жесткости могут применяться для предварительного расчета жесткости системы СПИД.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Weck, M. Handbook of Machine Tools / M. Weck // Construction and Mathematical Analysis. – Vol. 2. – London: Wiley, 1980.
2. Predicting dynamic behaviours of a whole machine tool structure based on computer-aided engineering / G. P. Zhang // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2003, 43. P. – 699–706.
3. Benaroya, H. Mechanical Vibration – Analysis, Uncertainties, and Control / H. Benaroya. – New York: Marcel Dekker, 2004.
4. Rao, S.S. Mechanical Vibrations / S.S. Rao // Prentice Hall. – New Jersey, USA, 2003.

УДК 621.9.048.6:371.69

#### ИСТОЧНИКИ ВИБРАЦИИ В СТАНОЧНОЙ СИСТЕМЕ

**А.И. ЗАБАГОНСКИЙ**

*(Представлено: канд. техн. наук, доц. А.М. ДОЛГИХ)*

*Исследуется следствие вибраций, возникающих в системе станок – приспособление – инструмент – деталь, что обнаруживает неудовлетворительное состояние обработанной поверхности детали, которая не поддается восстановлению и приводит к браку. Поэтому крайне важно, чтобы станок и технологическая оснастка обеспечивала как можно меньшую вибрацию, что позволяет выпускать продукцию в пределах заданного поля допуска.*

Кроме свободных и вынужденных колебаний, в системе станок – приспособление – инструмент – деталь существуют автоколебания (самовозбуждающиеся вибрации), которые являются своего рода вибрациями, зависящими от параметров системы. В практике металлообработки автоколебания обычно приводят к появлению стука в процессе обработки. Следует отметить, что возникновение стука также может быть обусловлено вынужденной вибрацией, возникающей вследствие воздействия составляющих сил резания, но это, как правило, не является серьезной проблемой в обработке, так как величину составляющих сил резания, или динамическую жесткость системы СПИД, можно уменьшить до разумных уровней, если удастся определить источник возникновения вибраций [1].

Вибрации и, как результат, стук возникает в основном потому, что одна из структурных составляющих системы СПИД изначально инициирована силой резания. Проблема нестабильности процесса обработки резанием характеризуется возникновением нежелательной вибрацией между инструментом и заготовкой, имеющей большую амплитуду, что сопровождается громким шумом и, следовательно, низким качеством поверхности. Она также имеет влияние на уменьшение срока службы станков и инструментов и влияет на надежность и стабильность процесса обработки резанием [2]. Эта проблема актуальна для производства в течение длительного времени и определяет направление научных и промышленных исследований, что способствует лучшему пониманию влияния динамических характеристик как на конструкции машины, так и на процесс обработки резанием.

Существуют три основных источника возникновения автоколебаний. Первым является частота вибраций, что находится в зависимости от изменения составляющих силы и скорости резания. Второй источник – регенеративной вибрация, которая возникает, когда неровность поверхности обрабатываемой заготовки обусловлена последующими изменениями в составляющих силах резания, когда режущий инструмент проходит повторно по обработанной поверхности, при этом в результате упругого отжатия



системы СПИД получаем реальное значение силы резания. В зависимости от фазового сдвига между двумя последовательно образованными волновыми поверхностями, максимальная толщина стружки может расти в геометрической прогрессии, а амплитуда колебаний растет до резонансной частоты, близкой, но не равной доминирующей (собственной) частоте системы. Растущие вибрации приводят к увеличению составляющих силы резания и образованию волнистой поверхности обработки [3]. Третий источник возникновения вибраций обусловлен режимом взаимодействия сил резания, действующих в одном направлении на систему СПИД, вызывая движения в другом направлении, и наоборот. Это приводит к возникновению вибраций одновременно в двух направлениях. На практике это обусловлено наличием ряда источников, таких как трение по передней и задней поверхностям [4].

С точки зрения процесса механической обработки, с конкретными условиями обработки, для получения желаемого качества финишной поверхности необходимо обеспечить стабильный процесс обработки резанием. Но в сложной динамической системе действуют различные источники вибраций, определяемые характером процесса обработки резанием, что приводит к нарушению изначально стабильной системы обработки, возникновению вибраций и неудовлетворительному качеству обработанной поверхности детали [6]. Нестабильность процесса обработки резанием введена здесь как новая обобщенная концепция, которая включает в себя все явления и делает процесс обработки резанием таким, каким он должен быть. Например, различные нарушения (вибрации) влияют на систему механической обработки, такие как самовозбуждающиеся вибрации [7], термомеханические колебания в стружке [8], приводе подачи станка [5], но наиболее важным является возникновение автоколебаний в результате динамической неустойчивости системы СПИД [9]. Тем не менее иногда процесс обработки осуществляется с вибрацией, возникающей между заготовкой и режущим инструментом, особенно при обработке труднообрабатываемых материалов, черновой обработке для обеспечения высокой скорости удаления материала. Относительная вибрация не обязательно является признаком нестабильности процесса обработки для определения условий получения назначенной поверхности обработки с заданными параметрами. В крайнем случае, например, при обработке поверхности особо высокой точности относительная вибрация между заготовкой и режущим инструментом слишком мала, чтобы быть измерена, но при этом процесс обработки резанием становится чувствительным к воздействию факторов окружающей среды. Процесс формирования поверхности может быть неудовлетворительным из-за нарушений, даже если сама система обработки работает в стабильном состоянии. Таким образом, нестабильность процесса обработки связана с уровнем качества поверхности.

На основании вышеизложенного систематизируем все виды вибраций и их технологические характеристики и представим в таблице.

Классификация нестабильности обработки

Нестабильность обработки							
Стучащая вибрация				Случайная или свободная вибрация			Вынужденная вибрация
	Регенеративная (доминирующая)	Фрикционная	Режим связи	В зависимости от инструмента	В зависимости от заготовки	В зависимости от окружающей среды	В зависимости от станка
Место	между режущей кромкой и заготовкой	Боковая поверхность заготовки. Сход стружки по передней поверхности инструмента	При резании и в направлении силы тяги	Боковая поверхность заготовки; Сход стружки по передней поверхности инструмента	Зона резания	Весь процесс резки	Весь процесс резки
Причины	Перекрывающий рез	Затирание на боковой поверхности и передней поверхности	Трение на передней и задней поверхностях; изменение толщины стружки, сдвиг угол колебаний	Износ инструмента, поломка и т.д.	Закалённый материал; жесткие зерна и других виды дефектов	Экологические нарушения	Дисбаланс подвижных компонентов, таких как шпиндель

Нестабильность обработки							
Стучащая вибрация				Случайная или свободная вибрация			Вынужденная вибрация
Особенности	Самовозбуждающиеся вибрации; остается волнистая поверхность заготовки	Самовозбуждающиеся вибрации; амплитуда зависит от затухания системы	Режим связи вибрации; одновременные вибрации в двух направлениях	Случайные и хаотические; зависят от условий резания	Случайные и хаотические; зависят от условий резания. Зависимость от материала и ХТО	Случайные и хаотические; зависят от рабочей среды	Вынужденные колебания
Методы подавления	Выберите правильную глубину резания и скорость вращения шпинделя в соответствии с регенеративной стабильностью вибраций	Выберите необходимый зазор и передний угол	Изменить путь инструмента; выберите соответствующие режущие переменные	Выберите высококачественные материалы и инструмент, правильные параметры резания	Выберите правильный режущий инструмент и режущие параметры	При необходимости, изолировать станок	Балансировка движущихся компонентов в станке

Вибрации классифицируются на случайные или свободные автоколебания и вынужденные вибрации. Случайные или свободные колебания, как правило, включает в себя любую ударную или импульсивную нагрузку на системы СПИД. Типичным случаем вибрации инструмента можно считать случай, когда инструмент наносит удар по жесткому месту в процессе резки. При этом инструмент будет отжиматься или вибрировать по отношению к заготовке, которая является началом явления самовозбуждающейся вибрации. Начальная вибрация, спровоцированная жестким местом, в значительной степени зависит от динамических характеристик конструкции станков, которые должны быть включены в любой рациональный анализ вибраций.

На основе анализа использованной литературы можно сделать следующие выводы:

- надежность конструкции режущих инструментов зависит от точности выполнения линейных и угловых параметров, выбора материала и термообработки детали, а также соответствие с последовательностью сборки и настройки инструмента;
- на основании вышеуказанных понятий, предложена таблица, которая включает в себя все виды нестабильности обработки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Wiercigroch, M. Chaotic vibrations of a simple model of the machine tool-cutting process system / M. Wiercigroch // Transactions of the ASME: Journal of Vibration Acoustics, 1997, 119: 468–475.
2. Altintas, Y. Manufacturing Automation: Metal Cutting Mechanics / Y. Altintas // Machine Tool Vibrations and CNC Design. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2000.
3. Cook, N.H. Self-excited vibration in metal cutting. Transactions of the ASME / N.H. Cook // Journal of Engineering for Industry, 1959, 81: 183–186.
4. Wiercigroch, M. Sources of nonlinearities, chatter generation and suppression in metal cutting / M. Wiercigroch, E. Budak // Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 2001, 359(A): 663–693.
5. Shaw, M.C. Metal Cutting Principles / M.C. Shaw. – Oxford University Press, Oxford, 1984.
6. Stepan, G. Modelling nonlinear regenerative effects in metal cutting / G. Stepan // Philosophical Transaction: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 2001, 359(A): 739–757.
7. Davies, M.A. and Burns, T.J. Thermomechanical oscillations in material flow during high-speed machining, Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 2001, 359(A): 821–846.
8. Budak, E. Analytical prediction of chatter stability in milling / E. Budak, Y. Altintas. Part I: General formulation, Transactions of the ASME // Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, 1998, 120(1): 22–30.
9. Budak, E. Analytical prediction of chatter stability in milling / E. Budak, Y. Altintas. Part II. Application of the general formulation to common milling systems, Transactions of the ASME: Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, 1998, 120(1): 31–36.

УДК 629.331:678.028.6

## СИСТЕМЫ РЕЦИРКУЛЯЦИИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ В АВТОМОБИЛЕ

В.А. БИЛЕЙ

(Представлено: И.В. ХОМИЧ)

*Исследуются различные виды систем рециркуляции отработавших газов в автомобиле, схемы их работы и характеристики. Система рециркуляции обладает достоинствами, оказывая тем самым положительное воздействие на двигатель.*

Система рециркуляции отработавших газов (EGR – ExhaustGasRecirculation) предназначена для снижения в отработавших газах оксидов азота за счет возврата части газов во впускной коллектор.

Оксиды азота образуются в двигателе под действием высокой температуры. Чем выше температура в камерах сгорания, тем больше образуется оксидов азота. Возврат части отработавших газов во впускной коллектор позволяет снизить температуру сгорания топливно-воздушной смеси и тем самым уменьшить образование оксидов азота. При этом соотношение компонентов в топливно-воздушной смеси остается неизменным, а мощностные характеристики двигателя изменяются незначительно. Количество отработавших газов, участвовавших в рециркуляции, может достигать 20...50 % общего расхода, при этом содержание оксидов азота снижается на 60 % [1].

Система рециркуляции отработавших газов применяется на дизельных (бензиновых, не оборудованных турбонаддувом) двигателях.

В зависимости от стандарта токсичности отработавших газов применяются различные схемы системы рециркуляции отработавших газов: высокого давления, низкого давления и комбинированная система рециркуляции.

**Система рециркуляции отработавших газов высокого давления (рис. 1).** Эта система применяется на дизельных двигателях, отвечающих требованиям Евро 4 (содержание  $\text{NO}_x < 0,25$  г/км).

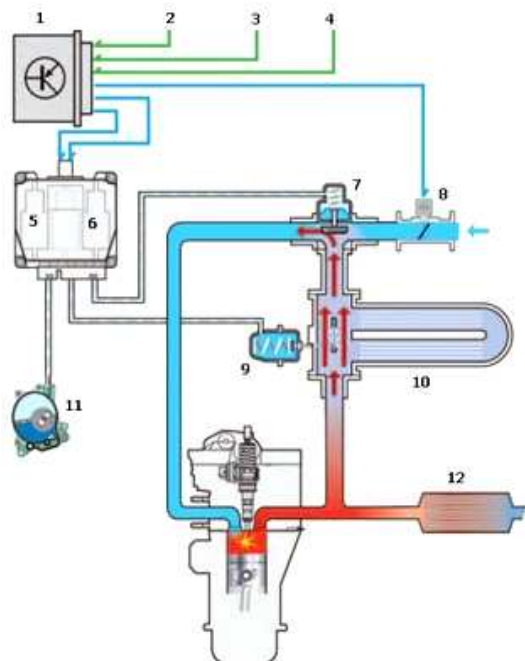


Рис. 1:

- 1 – блок управления двигателем;
- 2 – сигнал датчика частоты вращения коленчатого вала;
- 3 – сигнал датчика массового расхода воздуха;
- 4 – сигнал датчика температуры охлаждающей жидкости;
- 5 – электромагнитный клапан управления рециркуляцией;
- 6 – электромагнитный клапан управления заслонкой охладителя;
- 7 – клапан рециркуляции отработавших газов;
- 8 – электропривод впускной заслонки;
- 9 – вакуумный привод заслонки охладителя;
- 10 – охладитель перепускаемых отработавших газов;
- 11 – вакуумный насос;
- 12 – каталитический нейтрализатор

Система обеспечивает отвод части отработавших газов непосредственно из выпускного коллектора перед турбокомпрессором и подачу в канал перед впускным коллектором.

Интенсивность рециркуляции отработавших газов зависит от разницы давлений во впускной и в выпускной системах. Величина давления во впускной системе регулируется с помощью дроссельной заслонки. При закрытии дроссельной заслонки уменьшается давление на впуске и соответственно повышается интенсивность рециркуляции. Вместе с тем с ростом объема рециркуляции уменьшается поток отработавших газов, проходящих через турбину компрессора, что снижает давление наддува.

Система рециркуляции отработавших газов не работает на холостом ходу, при холодном двигателе, а также при полностью открытой дроссельной заслонке.

Рециркуляция отработавших газов производится под контролем системы управления двигателем. По сигналу блока управления перемещается дроссельная заслонка и срабатывает клапан рециркуляции. Положение дроссельной заслонки контролируется потенциометрическим датчиком.

На отдельных двигателях в системе рециркуляции отработавших газов применяется охлаждение отработавших газов, которое дополнительно снижает температуру сгорания, уменьшая образование оксидов азота.

**Система рециркуляции отработавших газов низкого давления (рис. 2).** Эта система применяется на дизельных двигателях, отвечающих нормам Евро 5 (содержание оксида азота в отработавших газах не более 0,18 г/км). В такой системе отработавшие газы отводятся после сажевого фильтра, охлаждаются в радиаторе системы рециркуляции, проходят через клапан (заслонку) рециркуляции и подаются в впускную систему непосредственно перед турбокомпрессором.

Система низкого давления обеспечивает меньшую температуру отработавших газов, отсутствие частиц сажи и, в конечном счете, меньшее содержание оксидов азота в выхлопе. Помимо этого все отработавшие газы проходят через турбину компрессора, поэтому давление наддува не снижается.

Регулирование интенсивности рециркуляции отработавших газов осуществляет система управления двигателем с помощью дроссельной заслонки, заслонки рециркуляции и выпускной заслонки. Заслонки имеют электрический привод. Величина открытия каждой из заслонок фиксируется потенциометрическими датчиками. Степень открытия заслонок определяется на основании заложенной в блок управления цифровой модели, учитывающей наполнение цилиндров, давление наддува и интенсивность рециркуляции отработавших газов.

**Комбинированная система рециркуляции отработавших газов (рис. 3).** На дизельных двигателях, отвечающих требованиям перспективного стандарта Евро 6 (содержание оксида азота в отработавших газах не более 0,08 г/км), применяется комбинированная система рециркуляции отработавших газов. Система имеет две отдельные магистрали рециркуляции отработавших газов – высокого и низкого давления.

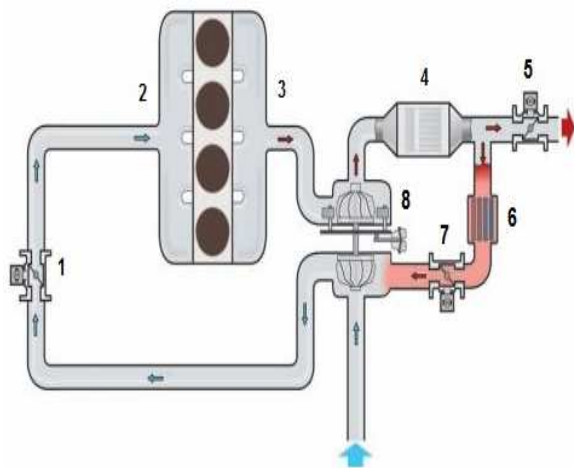


Рис. 2:

- 1 – дроссельная заслонка;
- 2 – впускной коллектор;
- 3 – выпускной коллектор; 4 – сажевый фильтр;
- 5 – выпускная заслонка;
- 6 – радиатор системы рециркуляции;
- 7 – заслонка рециркуляции;
- 8 – турбонагнетатель

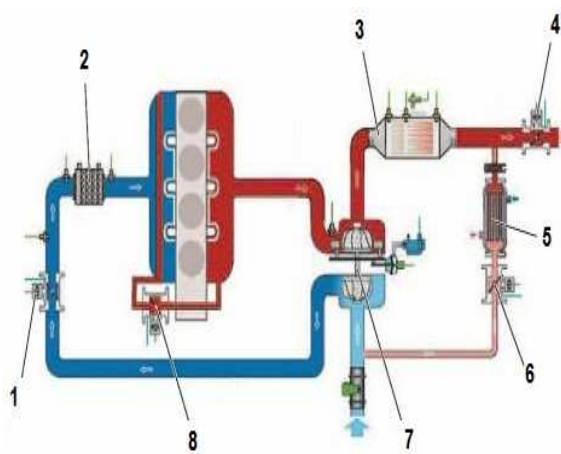


Рис. 3:

- 1 – дроссельная заслонка;
- 2 – охладитель наддувочного воздуха;
- 3 – сажевый фильтр; 4 – выпускная заслонка;
- 5 – радиатор системы рециркуляции;
- 6 – заслонка рециркуляции низкого давления;
- 7 – турбонагнетатель;
- 8 – заслонка рециркуляции высокого давления

Рециркуляция отработавших осуществляется аналогично рециркуляции на двигателях Евро 5. Кроме того, в определенных режимах работы двигателя происходит дополнительная подача отработавших газов из магистрали высокого давления, что еще больше уменьшает содержание оксидов азота. Магистраль высокого давления не имеет охладителя отработавших газов [2].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Савич, Е.Л. Легковые автомобили: учебник / Е.Л. Савич. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск: Новое издание; М.: ИНФРА-М, 2013. – 758 с. – (Высшее образование: Бакалавриат).
2. Система рециркуляции отработавших газов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://systemsauto.ru/output/recirculation.html>.

УДК 629.331:620.97

### СИСТЕМЫ РЕКУПЕРАЦИИ В АВТОМОБИЛЕ

**В.А. БИЛЕЙ**

(Представлено: И.В. ХОМИЧ)

*Исследуются различные системы рекуперации отработавших газов в автомобиле и принцип их работы. Использование системы рекуперации отработавших газов позволяет не только снизить нагрузки на элементы трансмиссии автомобиля, уменьшить расход топлива, но и снизить выбросы токсичных веществ с отработавшими газами*

По своему определению рекуперация – возвращение части энергии или материалов для их повторного использования во время одного и того же процесса.

Если говорить об автомобилях, то существует два основных вида рекуперации – кинетическая рекуперация за счет энергии торможения (KERS) и система рекуперации тепла.

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что одним из эффективных мероприятий обеспечения экологической безопасности автотранспорта является разработка комбинированных энергетических установок (КЭУ) транспортных средств, состоящих из ДВС и устройства для рекуперации энергии. Эти устройства позволяют не только снизить нагрузки на элементы трансмиссии автомобиля, улучшить тягово-скоростные качества автомобиля и уменьшить расход топлива, но и снизить выбросы токсических веществ с отработавшими газами двигателей.

**Электрический способ рекуперации кинетической энергии** (рис. 1). При торможении с использованием традиционной тормозной системы избыток кинетической энергии преобразуется в тепловую энергию трения тормозных колодок и тормозного диска и, соответственно, расходуется вхолостую.

В системе рекуперативного торможения для замедления используется электродвигатель, включенный в трансмиссию автомобиля. При торможении электродвигатель начинает работать в генераторном режиме, на валу двигателя создается тормозной момент и вырабатывается электрическая энергия, которая сохраняется в аккумуляторной батарее. Запасенная электрическая энергия используется в дальнейшем для движения автомобиля.

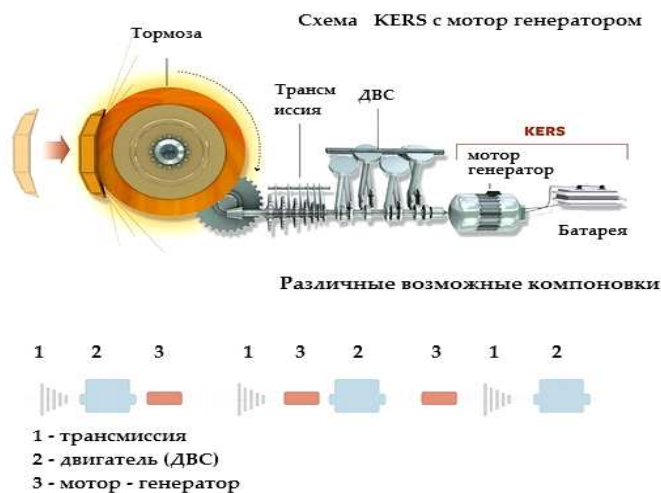


Рис. 1

Применение системы рекуперативного торможения обеспечивает максимальную отдачу от каждого заряда аккумуляторной батареи и высокую топливную экономичность. Рекуперативное торможение наиболее эффективно на передней оси автомобиля, так как до 70 % кинетической энергии при торможении приходится именно на переднюю ось.

Эффективность системы рекуперативного торможения значительно снижается на низких скоростях движения автомобиля. Поэтому для доведения автомобиля до полной остановки используются традиционные фрикционные тормоза. Совместная работа двух систем находится под управлением электроники.

**Механический способ рекуперации кинетической энергии** (рис. 2). В данной системе кинетическая энергия движущегося автомобиля возвращается при торможении и сохраняется для дальнейшего использования с помощью маховика. В отличие от рекуперативного торможения эта система не создает

тормозной момент. Маховик включен в трансмиссию автомобиля, вращается в вакуумной камере и при торможении разгоняется до 60000 об/мин. Конструкция обеспечивает сохранение энергии до 600 кДж и передачу мощности до 60 кВт (80 л. с.). Запасенная энергия используется для кратковременного скоростного рывка в движении или при трогании с места.

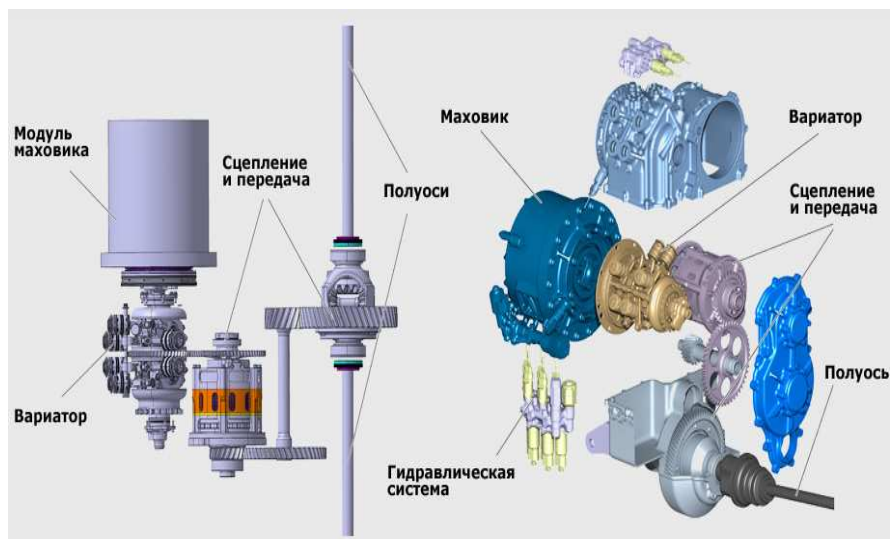


Рис. 2

Механическая система KERS применяется в автоспорте на автомобилях Formula 1 с 2009 года.

На автомобилях массового использования применение данной системы только планируется. Ближе всех к серийному применению системы рекуперации кинетической энергии находятся разработки компании Volvo.

Систему предлагается использовать при движении автомобиля в городском цикле. При торможении двигатель автомобиля выключается, маховик раскручивается и запасает энергию. При трогании с места используется энергия маховика, автомобиль трогается, а двигатель запускается уже в движении [1].

**Система рекуперации отработавших газов EHR** (рис. 3). Система рекуперации теплоты отработавших газов использует отработавшие газы для прогрева охлаждающей жидкости при запуске двигателя с помощью теплообменника, встроенного в выпускной тракт.

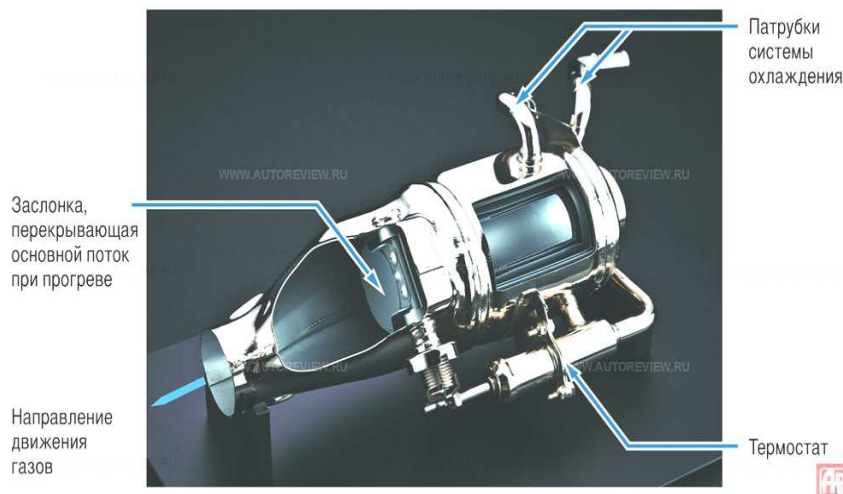


Рис. 3

Данная система более быстро прогревает двигатель, повышает КПД гибридного привода и улучшает топливную экономичность за счет более быстрого прогрева.

В результате двигатель может раньше выключаться для работы автомобиля в режиме электромобиля, особенно в холодных климатических условиях. Система использования отработанных газов треть-



го поколения, блок которой расположен на выпускном коллекторе перед нейтрализатором, заботится о том, чтобы даже в таких условиях бензиновый мотор работал максимально экономично. Она позволяет двигателю быстрее прогреваться и как можно раньше переходить к режиму start/stop [2].

**Турбонаддув** (рис. 4). Отработавшие газы автомобиля содержат немало энергии, которая обычно может использоваться для привода турбины наддува.

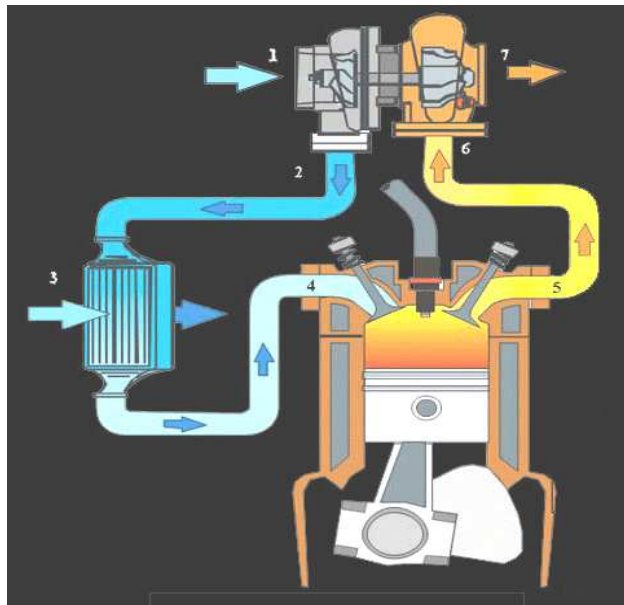


Рис. 4

Турбонаддув – способ увеличения мощности двигателя автомобиля за счет увеличения подачи воздуха в цилиндры, не изменяя при этом его (двигателя) объема. Основным элементом системы – турбокомпрессор, состоящий из турбины и компрессора (нагнетателя). Причем турбина начинает работать, как только происходит запуск двигателя, а компрессор только с определенного числа оборотов. Роль обогащения топливно-воздушной смеси кислородом отведена компрессору (нагнетателю). Происходит этот процесс за счет использования энергии отработавших газов. Колеса («крыльчатки») турбины и компрессора закреплены на одном валу. Выхлопные газы через выпускной коллектор попадают в корпус турбины, раскручивая ее колесо, которое в свою очередь раскручивает колесо компрессора, вследствие чего осуществляется всасывание воздуха из атмосферы в компрессор, и уже в нем его сжатие и нагнетание во впускное отверстие [3].

**Применение термоэлектрогенератора** (рис. 5). Для использования энергии отработавших газов фирма BMW разработала вариант двигателя, в котором газы нагревают воду, превращая ее в пар, который затем с помощью паровой машины подкручивает коленчатый вал ДВС.

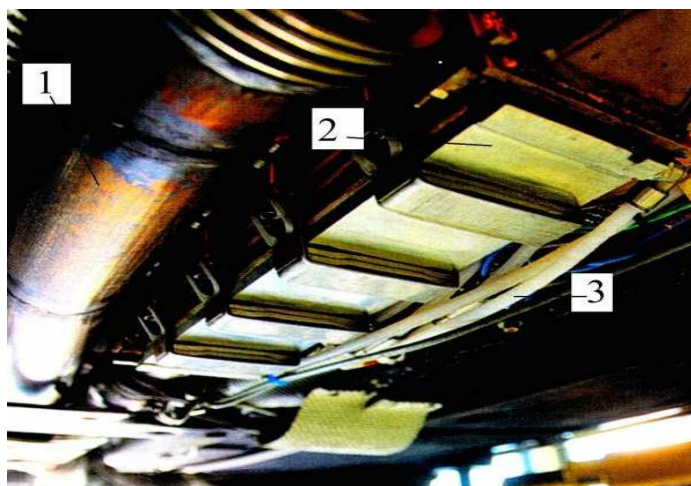


Рис. 5: 1 – выхлопная труба; 2 – термоэлектрогенератор; 3 – подвод охлаждающей жидкости

Для осуществления конвертации теплоты в ток было предложено установить термоэлектрический элемент, что обеспечит сокращение потребления электроэнергии от главного источника питания штатного генератора. Такая постановка задачи позволит значительно сэкономить ресурс движения автомобиля. Для конвертации 1 кВт·ч электроэнергии приходится сжечь на 6 кВт·ч бензина.

Итак, термоэлектрогенератор устанавливается на выхлопной трубе. Принцип действия термоэлектрогенератора основан на основе «теллурида висмута», что обозначает конвертацию разницы температур охлаждающей жидкости и отработавших газов в электрический ток. Размеры данного устройства 10 × 30 см, что позволяет выдавать порядка 600 Вт дополнительной мощности.

Проблема, которая стояла перед нами, заключается в том, что преобразование происходит при движении автомобиля со скоростью свыше 120 км/ч. Аргументируется это малой температурой выхлопных газов. Но при хорошем разгоне по трассе свыше 120 км/ч можно получить дополнительно около 1 кВт, что для БМВ не проблема [4].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Системы рекуперативного торможения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://systemsauto.ru/brake/regenerative\\_braking.html](http://systemsauto.ru/brake/regenerative_braking.html). – Дата доступа: 07.04.2015.
2. Система рекуперации отработавших газов EHR [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://prius20.ru/sistema-rekuperacii-otrabotavshih-gazov-ehr>. – Дата доступа: 08.04.2015.
3. Турбонаддув [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://autorambler.ru/bz/glossary/turbocharging>. – Дата доступа: 10.04.2015.
4. Савич, Е.Л. Легковые автомобили: учебник / Е.Л. Савич. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск: Новое издание; М.: ИНФРА-М, 2013. – 758 с. ил. – (Высшее образование: Бакалавриат).

УДК 656.136

### ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ГАЗОДИЗЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ

**С.В. КИЗИНА, В.О. КИРЮШКИН**  
(Представлено: Е.С. ЖДАНОВА)

*Рассматриваются особенности устройства газодизельной системы питания, а также проблемы, возникающие при её эксплуатации – загрязнение окружающей среды токсичными выбросами, и техническом обслуживании – использование экологически чистого топлива.*

Проблема автомобильного транспорта встает все острее. Сегодня стоит вопрос об использовании в автотранспорте экологически чистого топлива – газа. Для дизельных двигателей автобусов, грузовиков и других машин коммунального хозяйства эффективным решением в этом плане может стать использование сжиженного нефтяного газа – пропан-бутана.

Газодизельная система питания предназначена для работы дизеля на смеси дизельного топлива и природного газа, а также на чистом дизельном топливе.

Принцип работы дизеля на газозоудшной смеси заключается в том, что газозоудшная смесь, поступающая в цилиндры, сжимается поршнем и в конце такта сжатия в нее через серийную форсунку впрыскивается небольшое количество (запальная доза) дизельного топлива, которое самовоспламеняется и поджигает сжатую газозоудшную смесь.

Рассмотрим газодизельную систему питания на примере автомобилей КамАЗ (рис. 1). Эта система установлена на бортовом автомобиле КамАЗ-53208 (шасси 53217), тягаче с бортовой платформой КамАЗ-53218 (шасси 53219), на седельном тягаче КамАЗ-54118 и самосвале КамАЗ-55118.

На бортовых автомобилях десять баллонов для сжатого газа размещены под кузовом на продольных брусках платформы и крепятся к ним кронштейнами и хомутами. На седельном тягаче крепятся восемь баллонов, на самосвале – шесть баллонов за кабиной в специальных унифицированных держателях (крепятся к раме кронштейнами).

Газовые баллоны снабжены переходниками, соединены между собой трубопроводами и составляют две группы – переднюю и заднюю. Каждая группа баллонов имеет свой вентиль, который трубопроводом соединяется с распределительной крестовиной. На крестовине установлены наполнительный и расходный вентиля. Баллоны подвергаются соответствующим испытаниям и клеймению на заводе-изготовителе, а в эксплуатации – периодическому освидетельствованию, как это указано в начале настоящей главы.



Подогреватель сжатого газа подключен к системе охлаждения двигателя; газовые редукторы высокого и низкого давления стандартные, применяемые на газогенераторных автомобилях. Редуктор низкого давления, электромагнитный клапан со сменным войлочным фильтром установлены на впускном трубопроводе двигателя.

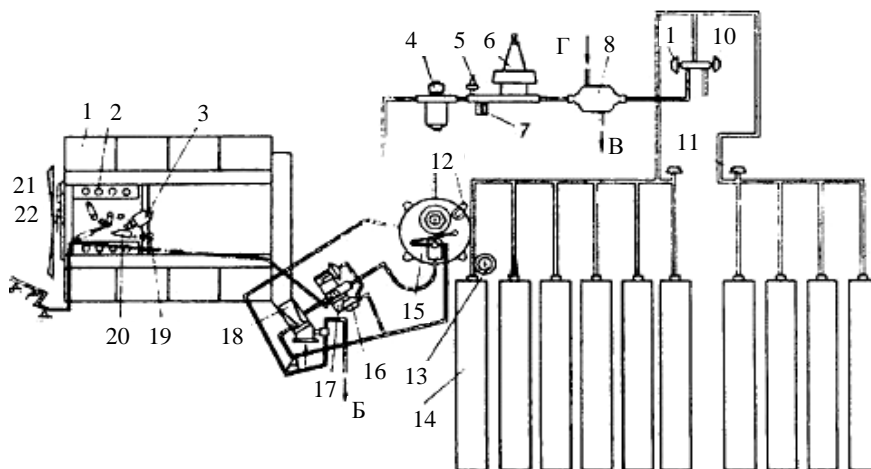


Рис. 1. Принципиальная схема газового оборудования автомобиля КамАЗ:

- 1 – двигатель; 2 – топливный насос высокого давления; 3 – механизм установки запальной дозы топлива;  
 4 – электромагнитный клапан с фильтром; 5 – сигнализатор аварийной выработки газа;  
 6 – редуктор высокого давления; 7 – предохранительный клапан; 8 – подогреватель газа;  
 9, 10, 11 – вентили; 12 – преобразователь давления газа; 13 – манометр; 14 – баллон;  
 15 – двухступенчатый редуктор низкого давления; 16 – трехходовой электромагнитный клапан;  
 17 – дозатор газа; 18 – смеситель; 19 – выключатель блокировки; 20 – подвижный упор;  
 21 – преобразователь частоты вращения; 22 – зубчатый венец (А – из воздухоочистителя;  
 Б – к индикатору засоренности; В – в систему охлаждения; Г – из системы охлаждения)

Манометр высокого давления – механический, мембранного типа, рассчитан на давление 24 МПа, установлен на первом баллоне; манометр низкого давления – электрический дистанционный, рассчитан на давление 0,8 МПа, установлен на панели приборов в кабине водителя.

Дозатор со смесителем газа установлен между воздухоочистителем и впускным трубопроводом двигателя. Дозатор служит для регулирования необходимого количества газа, поступающего в смеситель из редуктора низкого давления. Состоит он из механизма ограничения подачи газа мембранного типа и дроссельного устройства. Управляется педалью из кабины водителя.

Телескопическая тяга привода управления регулятором топливного насоса высокого давления и дозатором при работе двигателя в газодизельном режиме обеспечивает за счет сжатия пружины тяги после хода рычага топливного насоса высокого давления дальнейшее передвижение педали подачи топлива и изменение положения дроссельной заслонки дозатора газа. В дизельном режиме тяга работает как жесткий элемент, так как ее пружина значительно жестче, чем пружина рычага регулятора.

Привод управления регулятором топливного насоса высокого давления и дозатором газа регулируется при помощи наконечников и тяг с резьбовыми соединениями – наворачивая или отворачивая наконечники, изменяют длину тяги. Отрегулировать привод следует так, чтобы рычаг управления регулятором занимал крайнее левое положение и упирался в регулировочный болт насоса, а заслонка дозатора газа находилась в крайнем закрытом положении. При этом пружина телескопической тяги должна быть сжата.

Механизм дистанционной установки запальной дозы топлива предназначен для изменения цикловой подачи топлива в цилиндры двигателя при его переводе с дизельного режима работы на газодизельный (крепится при помощи кронштейна на топливном насосе высокого давления). Принцип действия механизма заключается в том, что при включении электромагнита подвижный упор регулятора топливного насоса перемещается и занимает такое положение, при котором дальнейшее передвижение рычага управления насоса ограничивается. В таком положении рычаг регулятора насоса может перемещаться в пределах, обеспечивающих минимальные частоты вращения коленчатого вала при холостом ходе и подачу в цилиндры запальной дозы топлива. На кронштейне механизма установлен электрический выключатель, который препятствует одновременной подаче газа и неограниченной дозы дизельного топлива. В том случае если двигатель работает в режиме дизеля или выходит из строя, электромагнит управления подвижным упором рычага регулятора насоса, выключатель блокировки отключает цепь питания электроклапана подачи газа.

На газодизельных автомобилях КамАЗ установлен индивидуальный воздухоочиститель компрессора сухого типа. Он состоит из двух фильтрующих элементов: один предназначен для очистки воздуха от крупных механических примесей из нетканого клеенчатого полотна «Сипрон», другой – для тонкой очистки из фильтровального нетканого материала ИФПВД (иглопробивного фильтровального полотна для воздухоочистителей дизелей). Обслуживание воздухоочистителя компрессора проводится одновременно с обслуживанием воздухоочистителя дизеля.

Дизельная система питания состоит: из топливного бака емкостью 175 л, установленного с левой стороны автомобиля под платформой кузова; топливного насоса высокого давления модели 335 с трехрежимным регулятором частоты вращения; механизма дистанционной установки запальной дозы на топливном насосе высокого давления с передвижным упором рычага регулятора тягового электромагнита; выключателя блокировки (рис. 2). При дизельном режиме работы двигателя дизельная аппаратура работает, как обычно, на дизельном топливе. В это время телескопический механизм, включенный в систему управления топливным насосом, не действует, так как закрыт электромагнитный клапан подачи газа. Однако при каждом нажатии на педаль дроссельная заслонка дозатора открывается и закрывается вхолостую.

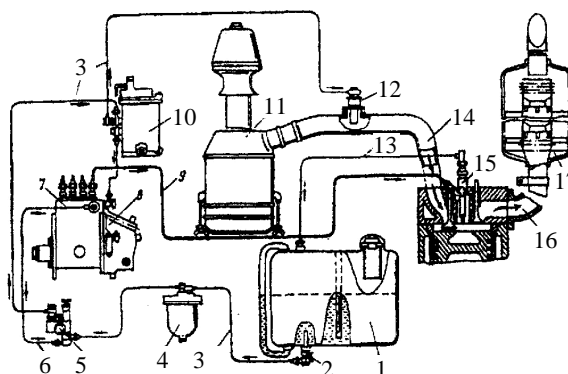


Рис. 2. Схема системы питания дизельного двигателя:

- 1 – топливный бак; 2 – расходный кран; 3 – топливопровод низкого давления; 4 – фильтр грубой очистки; 5 – топливоподкачивающий насос; 6 – сливная трубка; 7 – топливный насос; 8 – регулятор; 9 – топливопровод высокого давления; 10 – фильтр тонкой очистки; 11 – воздухоочиститель; 12 – электрофакельный подогреватель; 13 – сливная трубка; 14 – впускной коллектор; 15 – форсунка; 16 – выпускной коллектор; 17 – глушитель

Для контроля и регулировки газовой аппаратуры следует пользоваться следующими данными:

- максимальное давление в баллонах 20 МПа;
- давление газа после редуктора высокого давления 0,90...1,15 МПа;
- давление, при котором должен срабатывать предохранительный клапан редуктора высокого давления, 14,5...17,0 МПа;
- давление, при котором должен срабатывать выключатель контрольной лампы указателя давления газа, 0,45...0,55 МПа;
- давление газа, регулируемое в первой ступени редуктора низкого давления, 0,18...0,22 МПа;
- избыточное давление газа во второй ступени при давлении в первой ступени 0,18...0,22 МПа;
- разрежение в разгрузочном устройстве 1 кПа и заглушённом выходе из редуктора 100...150 Па;
- разрежение в разгрузочном устройстве, при котором открывается клапан второй ступени, составляет 700...800 Па;
- частота вращения коленчатого вала, при которой срабатывает система синхронного выключения подачи газа при отключении подачи запальной дозы дизельного топлива, 2250...2600 об/мин.

При переводе двигателя с дизельного режима на работу в газодизельном режиме следует выполнять следующие операции:

- прогреть двигатель до температуры охлаждающей жидкости 50...60 °С;
- проверить наличие газа в баллонах при помощи манометра высокого давления;
- открыть вентили на баллонах до упора;
- медленно открыть расходный вентиль на крестовине до конца;
- установить клавишу «газ – дизель» в положение «газ»;
- убедиться по показаниям манометра низкого давления в открытии электромагнитного клапана, поступлении газа в первую ступень редуктора низкого давления.

Загорание контрольной лампы на щитке приборов в кабине водителя сигнализирует о готовности двигателя к работе в газодизельном режиме.

После выполнения указанных операций и появления световой сигнализации о готовности двигателя к работе в газодизельном режиме при нажатии на педаль подачи топлива рычаг управления регулятором может перемещаться в положение, соответствующее подаче запальной дозы дизельного топлива.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Особенности устройства и техническое обслуживание газодизельной системы питания [Электронный ресурс] / Техническое обслуживание автомобилей. – 2015. – Режим доступа: <http://stroy-technics.ru/article/osobennosti-ustroystva-i-tekhnicheskoe-obsluzhivanie-gazodizelnoi-sistemy-pitaniya>. – Дата доступа: 20.09.2015.
2. Коммунальная техника «КамАЗ» с газовым двигателем для чистого города // Международный Научно-Технический журнал [Электронный ресурс]. – 2010. – № 1 (13). – Режим доступа: [http://www.metaninfo.ru/aftmarchive/aftm\\_13.pdf](http://www.metaninfo.ru/aftmarchive/aftm_13.pdf). – Дата доступа: 20.09.2015.

УДК 621.43-62.622

### ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДОРОДА В КАЧЕСТВЕ НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ ДЛЯ РАБОТЫ АВТОМОБИЛЯ

**А.С. МАЛЯРОВ**

*(Представлено: А.А. ЛИСОВСКИЙ)*

*Рассматриваются перспективы применения водорода в качестве накопителя энергии для работы автомобиля. Выявлены преимущества и недостатки в эксплуатации автомобилей на водородном топливе. Представлен анализ проблем применения водородного топлива в двигателях внутреннего сгорания.*

Понятие «водородная энергетика» сформировалось в середине 70-х годов XX столетия. Водородная энергетика – это научно-техническое направление, которое занимается вопросами получения, хранения, транспортировки и использования водорода [1].

Цель данной работы состоит в исследовании водорода в качестве накопителя и источника топлива. Основная задача – выявление основных преимуществ и недостатков водородного топлива. Кроме того, к задачам следует отнести определение рационального использования водорода в Республике Беларусь, а также разобраться в преимуществе, либо недостатке традиционной системы сгорания топлива в двигателе внутреннего сгорания над топливными элементами.

Ученые всего мира сегодня высказываются о проблеме истощения топливных ресурсов. Следовательно, это касается и углеводородного сырья, необходимого для изготовления автомобильного топлива.

Стремительно увеличивающийся парк транспортных средств, использующих углеводородное топливо, с одной стороны, и не менее стремительными темпами уменьшающиеся запасы сырой нефти – с другой – обуславливают активный поиск альтернативы топливу на основе углеводородов. На замену бензину и дизельному топливу придет новый вид источника энергии – водород, и многое говорит в его пользу.

Идея использования водорода как топлива для двигателя внутреннего сгорания не является новой. Ещё в 1806 году Франсуа Исаак де Рива запатентовал во Франции первый двигатель на водороде. Но его изобретение не получило признания и не имело успеха. Однако в блокадном Ленинграде, в условиях тотального дефицита бензина, более 600 автомобилей успешно работали на водороде.

В настоящее время уже сформировался термин «водородная экономика». Под этим определением понимается экономика, построенная путем полной замены углеводородного топлива, получаемого из невозобновляемых ископаемых источников энергии, водородным топливом, позволяющим уменьшить выброс парниковых газов в атмосферу.

Наблюдаемое в мире в последнее десятилетие резкое увеличение интереса к водороду как к горючему и энергоносителю определяется следующими его основными особенностями:

- запасы водорода практически не ограничены;
- водород – универсальный вид энергоресурса. Он может использоваться в качестве горючего для производства электричества в рабочих циклах различного типа и в качестве энергоносителя для транспортировки в газообразном, жидком и связанном состояниях;
- при помощи водорода возможна аккумуляция энергии;
- среди прочих видов органического топлива водород отличается наибольшей теплотворной способностью на единицу массы и наименьшим отрицательным воздействием на окружающую среду.

Использовать водород как топливо для автомобилей можно разными способами. Например, используя только сам водород, используя его в смеси с другими видами топлива или применение водорода в топливных элементах. Этот вид топлива должен отвечать многим требованиям. Иметь достаточные по объёму сырьевые ресурсы, себестоимость не должна быть высокой, что тоже немаловажно. Современные двигатели внутреннего сгорания должны без доработок (или с их минимальным количеством) работать на новом топливе. Нельзя забывать об окружающей среде – выброс вредных веществ работающим двигателем должен быть минимальным и энергетическая полезность нового топлива должна быть выше существующего.

Рассмотрим *преимущества и недостатки автомобилей на водородном топливе.*

*Преимущества:*

- водород при горении в среде чистого кислорода не выделяет никаких загрязняющих веществ, что хорошо скажется на экологической ситуации мира;
- массовое производство и использование водорода может облегчить проблемы, связанные с меняющимися ценами и перерывами в поставках обычных видов топлива;
- рост производства водорода мог бы как дополнительный выигрыш стимулировать рост поставок водорода для отопления домов и офисов. Во многих странах, включая США, уже существуют сети трубопроводов для метана. Некоторые из них можно было бы адаптировать для прокачки водорода и доставки его к заправочным станциям;
- водород можно получать как в малых масштабах на местных предприятиях, так и массово – на крупных централизованных производствах.

Перечисленные факторы способствуют повышению безопасности цивилизованного мира благодаря распределению энергетических ресурсов и благ в его пределах.

Однако у данного вида топлива есть и обратная сторона. К недостаткам можно отнести следующее:

- водород не распространен широко на заправочных станциях в большинстве стран;
- в горючей форме водород при комнатной температуре и нормальном давлении представляет собой газ. Это вызывает трудности при его хранении, переноске и перевозке. Особенно сложная проблема – конструирование безопасных баллонов или других резервуаров для автомобилей на водородном топливе;
- большим минусом является то, что баллоны с водородом требуют периодической проверки и сертификации. Это может выполняться только квалифицированным персоналом, имеющим лицензию.
- водород считается достаточно дорогим топливом, в основном из-за высокой стоимости процессов, необходимых для выделения его природных соединений – метана и воды.

Первоначально предполагалось, что водород станут сжигать в цилиндрах двигателей точно так же, как и традиционные виды горючего, но с появлением топливных элементов многие автомобильные компании, занимавшиеся экспериментами с водородом, переключили внимание на новую технологию. У каждой из этих технологий есть свои плюсы и минусы, какая из них в конце концов возьмет верх или они будут существовать параллельно – вопрос нерешенный.

Приверженцами традиционного сжигания являются BMW, Mazda и Ford. Привлекательность такого способа применения водорода заключается в том, что в качестве силовых агрегатов можно использовать обычные двигатели внутреннего сгорания. Разумеется, понадобится их модернизировать с учетом особенностей водорода, в частности склонности водородно-воздушной горючей смеси к преждевременному воспламенению еще на такте впуска, но необходимые доработки в конструкции моторов минимальны, из-за чего и инвестиции в модернизацию не должны быть велики. Для окружающей среды водородные двигатели не будут совершенно безвредными. Проблема связана с высокой температурой сгорания водорода, следовательно, имеется не только водяной пар, но и токсичные окислы азота. Однако и обезвреживать окислы можно с помощью тех же каталитических нейтрализаторов, которые сегодня применяются повсеместно [2].

В топливных элементах водород не сгорает, а расщепляется на разноименно заряженные ионы и электроны. Как раз электроны и создают электрический ток, необходимый для работы бортового электродвигателя, а ионы окисляются с помощью кислорода, подаваемого в топливные элементы, в результате чего образуется «выхлоп» – водяной пар.

В 2003 году фирма BMW объявила о выпуске первого серийного автомобиля с топливным элементом BMW 750 hL. Батарея топливных элементов используется вместо традиционного аккумулятора. Этот автомобиль имеет 12-цилиндровый двигатель внутреннего сгорания, работающий на водороде, а топливный элемент служит заменой аккумулятору, обеспечивая возможность работы потребителей электроэнергии при длительных стоянках автомобиля с неработающим двигателем. В V12 (рис. 1), которым оснащен водородный BMW Hydrogen 7, водород впрыскивается в каналы перед впускными клапанами, однако непосредственный впрыск в цилиндры считается более перспективным [2].

Для сжатого водорода, чтобы обеспечить автомобилю такой же запас хода, как у современных машин, понадобится емкость большого объема, которую проблематично разместить в автомобиле без

ущерба его полезному пространству. Чтобы разместить на борту BMW Hydrogen 7 (рис. 2) 170-литровую емкость с жидким водородом, пришлось пожертвовать багажником, но и при этом запаса водорода хватает лишь на пробег 200 км.

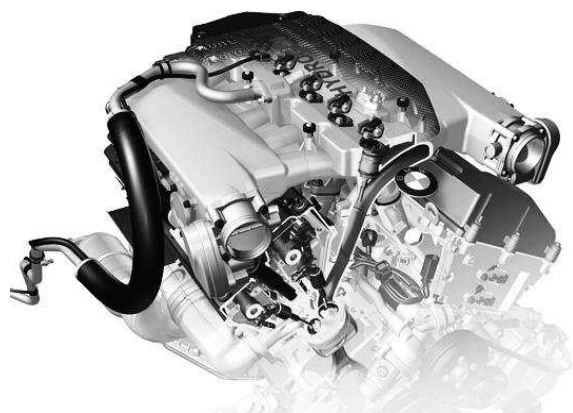


Рис. 1. Двигатель V12

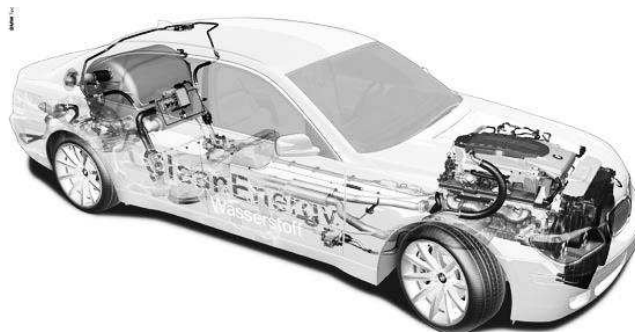


Рис. 2. BMW Hydrogen 7

Наряду с технологией получения и хранения водорода другой важнейшей технологией водородной энергетики является технология топливных элементов и батарей топливных элементов. Топливные элементы относятся к химическим источникам тока. Водородный топливный элемент представляет собой электрохимическое устройство, преобразующее энергию реакции соединения водорода с кислородом напрямую в электричество, минуя малоэффективные, идущие с большими потерями, процессы горения. Поэтому у топливных элементов энергетический коэффициент полезного действия значительно выше, чем у традиционных энергоустановок и может составлять 90 % [3].

Химические реакции в топливном элементе (рис. 3) идут на пористых электродах (аноде и катоде), активированных катализатором (обычно на основе платины или других металлов платиновой группы), по следующей схеме [3]. Водород поступает на анод топливного элемента, где его атомы разлагаются на электроны и протоны. Электроны поступают во внешнюю цепь, создавая электрический ток. Протоны, в свою очередь, проходят сквозь протонообменную мембрану на катодную сторону, где с ними соединяется кислород и электроны из внешней электрической цепи с образованием воды [3].

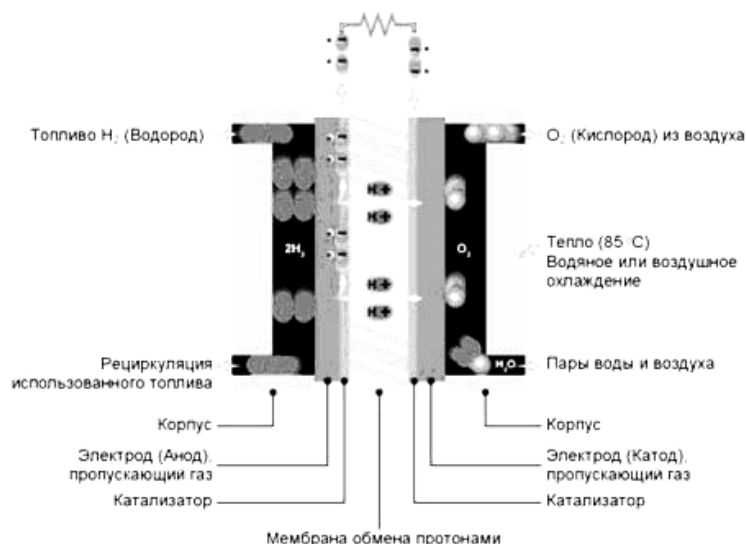


Рис. 3. Топливный элемент

Преимуществом водородных топливных элементов является замена двигателя внутреннего сгорания, обладающего далеко не идеальным коэффициентом полезного действия, электродвигателем. Из негативных факторов – необходимость наличия вдобавок к водородным топливным элементам мощных аккумуляторов, преобразователей тока, вес и габариты которых немалые. В конечном итоге вес автомобиля на водородных топливных элементах получается несколько выше, чем у автомобилей с двигателя-

ми внутреннего сгорания, которые могут работать на водороде, а свободного места в них меньше. Не в пользу водородных топливных элементов говорит и стоимость этих элементов – на данный момент она довольно высока.

Итак, наиболее успешными и перспективными технологиями использования водорода в качестве топлива для автомобилей являются:

- замена, полная или частичная, традиционного топлива водородом, при этом на автомобиле остается двигатель внутреннего сгорания;

- использование вместо двигателя внутреннего сгорания электродвигателя, питание которого будет проводиться за счет энергии, вырабатываемой в водородных топливных элементах.

Из всего вышесказанного следует отметить, что водородное топливо является достаточно дорогостоящим ресурсом, что не позволяет применить его в Республике Беларусь, из-за нестабильной экономической ситуации. Также возникают сложности при транспортировке и хранении водорода. Использование водорода имеет и положительные стороны, например, при сгорании он практически не выделяет токсичных веществ, что благоприятно сказывается на экологической ситуации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ландграф, И. Независимая энергетика для нефтянки / Игорь Ландграф, Михаил Касаткин // Neftegaz.Ru Новости нефтегазового сектора, нефть, газ, нефтепродукты, биржа [Электронный ресурс]. – 2013. – № 2. – Режим доступа: <http://neftgaz.ru/science/view/892/>. – Дата доступа: 10.04.2015.
2. Боярских, С. Первый элемент: сжечь или расщепить? / Сергей Боярских // Автобизнес. – 2012. – С. 10.
3. Топливные элементы / ООО «ПОЛИКОМ» // Компания ООО «ПОЛИКОМ» [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: <http://www.poly-com.ru/fc.htm>. – Дата доступа: 05.04.2015.

УДК 621.43.004.67

#### КАПИТАЛЬНЫЙ РЕМОНТ: БЫТЬ ИЛИ НЕ БЫТЬ?

**Ю.В. КИРСАНОВ**

*(Представлено: канд. техн. наук, доц. А.В. ДУДАН)*

*Рассматривается проблема капитального ремонта двигателя автомобиля, с которой сталкивается практически каждый автовладелец. Анализируются основные факторы для дальнейшего ресурса работы двигателя автомобиля – качество запчастей и уровень эксплуатации. Показано, что применение «интеллектуальной» смазки «СУПРОТЕК» способно увеличить ресурс работы двигателя.*

Со временем практически каждый автовладелец сталкивается с проблемой капитального ремонта двигателя. Качество запчастей и уровень эксплуатации – основные факторы для дальнейшего ресурса работы двигателя автомобиля. Когда двигатель начинает терять мощность, «ест» масло, увеличивается расход топлива и выхлоп газов, ухудшаются пусковые свойства и все эти неполадки не устраняются текущим ремонтом, приходит время капитального ремонта двигателя. Ресурс работы двигателя для автомобилей российского производства составляет в среднем 150 тыс. км пробега, зарубежного производства 250...300 тыс. км. Даже при таком раскладе, чтобы двигатель отработал свой ресурс, его надо эксплуатировать по нормам, приведенным заводом-изготовителем. Это происходит из-за износа деталей и запчастей: изменения формы, размеров, повреждения поверхности и т.д. Неправильная эксплуатация, не вовремя пройденное техобслуживание приводят к более быстрому выходу в непригодность, то есть к поломке.

Для того чтобы продлить жизнь запчастям и уменьшить уровень износа, существует класс «интеллектуальных» смазок, к примеру «СУПРОТЕК». Это уникальный продукт, включающий в себя более 60 химических элементов. Его уникальность заключается в возможности оптимизировать поверхностные слои металла в зонах контакта в первые минуты работы. Материал мгновенно после его применения направляется в места повышенного трения с целью защиты поверхностного слоя металла. Таким образом, применение такой «интеллектуальной» смазки способно увеличить ресурс работы двигателя, а также поможет отсрочить время капитального ремонта.

Возвращаясь непосредственно к вопросу о ремонте двигателя, можно выделить понятия «текущий ремонт» и «средний ремонт». При текущем ремонте устраняют мелкие неисправности. Задача среднего ремонта – разбор некоторых деталей, их восстановление или замена (головка блока цилиндров).

Капитальный ремонт двигателя – это полная разборка головки блока цилиндров, коленчатого вала, блока цилиндров и других деталей, что требует немалых затрат и большого количества времени.

Несвоевременная замена масла, масляного фильтра приводят к образованию трения между деталями в неблагоприятных условиях. С течением времени, масло теряет свои свойства (плотность, эластичность и т.д.), происходит износ смазочной системы. Всё это приводит к ускорению износа двигателя.

Использование некачественного масла приводит к быстрому износу пар трения, к разрушению поверхностей деталей (кольца поршневые, юбки поршней, вкладыши коленчатого вала, газораспределительный механизм и т.д.). Использование масел с повышенным выделением смолистых материалов вызывает закупоривание масляных каналов, в результате чего смазка не попадает к паре трения, происходит износ, заклинивание и т.д. Подобное происходит, когда используют масло, неподходящее по классу качества для двигателя.

Повреждения масляного или топливного фильтров, негерметичность системы впрыска приводят к попаданию загрязняющих частиц в двигатель, разрушая тем самым поршни, кольца и др.

Несвоевременное устранение неисправностей в двигателе или неправильные регулировки ведут к его быстрому износу. Например, перегрев двигателя вызывает деформацию и трещины головки блока цилиндров. У дизельных двигателей ведёт к прогару поршней, неисправности топливной системы.

Повышенные нагрузки на двигатель ускоряют его износ на 20...30 %.

При пуске двигателя износ достигает 70 %, особенно холодный пуск, когда залитое масло не соответствует вязкостно-температурным характеристикам. Например, при пуске двигателя в 30-градусный мороз износ эквивалентен износу при проезде нескольких сотен километров. Это происходит потому, что масло становится более тягучим и необходимо дополнительное время, чтобы достигнуть трущихся деталей. Даже недлительные поездки зимой, при непрогретом двигателе, приводят к отложению в системе смазки и коррозионному износу поршней и колец цилиндров.

Таким образом, в зимнее время двигатель автомобиля нуждается в большей защите. Действия по своевременному осмотру и техническому обслуживанию двигателя гарантируют его длительную эксплуатацию и незначительный износ деталей, а следовательно, помогут избежать больших затрат на капитальный ремонт.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Официальный сайт представительства СУПРОТЕК [Электронный ресурс]. – 1999. – Режим доступа: <http://suprotec.ru>. – Дата доступа: 25.09.2015.

УДК 623.437.41/632.111.53

#### ПОДГОТОВКА АВТОМОБИЛЯ К ЗИМЕ

**Ю.В. КИРСАНОВ**

*(Представлено: канд. техн. наук, доц. А.В. ДУДАН)*

*Рассматривается проблема подготовки автомобиля к эксплуатации в зимнее время. Показано, что из-за низких температур системы автомобиля работают в экстремальных режимах, прежде всего это касается двигателя и устройств, обеспечивающих его работу, поэтому требуется подготовка автомобиля к работе в зимних условиях.*

В зимнее время, при минусовых температурах, имеют место экстремальные режимы работы двигателя. Это сказывается на пусковых характеристиках двигателя (затрудненный пуск); интенсивности отказов (ухудшение или прекращение работоспособности систем топлива, масла, зажигания, электрооборудования и т.д.); на ухудшении экономических и эффективных показателей (повышение расхода топлива, снижение мощности); увеличении вероятности аварийного выхода из строя (потеря смазки, катастрофический износ, нарушение прочности). Следовательно, необходимо заблаговременно подготовить автомобиль к работе в этот период года, чтобы свести к минимуму негативные последствия.

*Затрудненный пуск двигателя в условиях низких температур происходит по следующим причинам:*

- прежде всего, это происходит из-за сильного увеличения вязкости смазочного масла. Увеличение вязкости от +20 до –20 °С составляет до 100 раз. Во столько же раз увеличивается сдвиговое усилие на стартере в первые секунды. В результате пусковые обороты двигателя снижаются в несколько раз.

- снижается емкость аккумулятора (при перепаде температур от +20 до –20 °С до 2 раз). Поэтому рекомендуется перед стартом включить фары на 10 с;

- низкие обороты двигателя при старте приводят к снижению давления смеси в конце такта сжатия (компрессии), особенно когда наблюдаются значительные протечки воздуха в поршневых уплотнениях (повышенный износ цилиндропоршневой группы);

- низкая температура воздуха приводит также к ухудшению смесеобразования, что ухудшает условия цепной реакции горения;

- кроме того, высокая теплоотдача первых вспышек топлива в холодные стенки цилиндра снижает устойчивость циклических процессов двигателя;

- высокая влажность при низких температурах приводит к ухудшению работы системы зажигания.

Неудачный запуск двигателя характеризуется рядом негативных факторов:

- при низкой температуре и низких оборотах двигателя масло прокачивается значительно медленнее. Кроме того, не воспламенившийся бензин или дизельное топливо смывает со стенок цилиндра оставшуюся масляную пленку. В результате поршневая группа и подшипники работают в режиме масляного «голодания», что значительно увеличивает скорость изнашивания деталей трения, особенно вкладышей подшипников;

- каждый запуск двигателя снижает емкость аккумулятора, следовательно, падают обороты прокрутки;

- первые неудавшиеся пуски карбюраторных двигателей усугубляют положение ещё и тем, что происходит перенасыщение смеси, и тогда двигатель вообще может не запуститься.

При температуре окружающего воздуха, близкой к нулевой, высокой влажности и при условии работы мотора без резких изменений нагрузки может происходить обледенение (обмерзание) диффузора карбюратора. Такая ситуация может возникнуть и с инжекторными автомобилями, в которых возможно промерзание узла дроссельной заслонки и некоторых других элементов впускного тракта.

Конечно, на условия эксплуатации автомобиля при низких температурах влияет еще целый ряд второстепенных факторов, таких как: состояние топливных фильтров, точность регулировки клапанов (соблюдение фаз газораспределения) и регулировки натяжения приводных ремней, состояние свечей зажигания или накаливания. Но основными проблемами при «холодном пуске» являются вязкость масла, низкая компрессия и повышенный износ.

Как можно решить эти проблемы, или хотя бы частично компенсировать их? Первое, что можно сделать, это залить зимнее масло: масло, официально считающееся всесезонным, в условиях белорусской зимы абсолютно неприемлемо. Используемое многими автолюбителями в теплое время года масло с зимним индексом 20W обладает хорошей текучестью только при температурах не ниже  $-10^{\circ}\text{C}$ , 15W – не ниже  $-15^{\circ}\text{C}$ . Очевидно, что зимой будут дни, когда столбик термометра опустится ниже этой отметки, и во время холодного пуска двигатель будет работать в условиях недостаточно эффективной смазки. Хороший выход, на первый взгляд, – масло с зимним индексом 0W или 5W. Но и у этого решения есть недостаток – даже у качественного синтетического масла с высоким индексом вязкости (пологой температурной зависимостью) при высоких температурах снижётся несущая способность. А у прогретого двигателя температура стенок цилиндра и зимой и летом одинаковая (при исправной системе охлаждения). Таким образом, улучшая пусковые характеристики, мы всё равно подвергаем двигатель повышенным износам при больших нагрузках.

Есть простой и более эффективный способ решения проблемы – использование ресурсосберегающей технологии СУПРОТЕК. Смазочные Композиции (СК) «СУПРОТЕК» – это не присадка и не добавка в смазочное масло, задачей которых является улучшение характеристик этого масла. Несмотря на то, что СК «Супротек» – это комплекс веществ и добавляется он тоже в масло, это катализатор, или инициатор процессов самоорганизации системы, результатом которого является формирование сложной защитной структуры на поверхностях трения. Эта технология помогает системе трения сформировать новую структуру, которая образуется в первую очередь в «проблемных» местах, в наиболее нагруженных зонах. Этот слой по маслоудерживающей способности и антифрикционным свойствам в 10 раз лучше основы, на которой он сформировался.

Высокая маслоудерживающая способность новой поверхности позволяет оставаться плотному слою масла на поверхностях трения постоянно. Поэтому пуск холодного двигателя происходит в условиях необходимой смазки. Кроме того, высокие антифрикционные свойства поверхности (снижение потерь на трение до 2 раз) позволяют увеличить пусковые обороты прокрутки двигателя. В результате этого и благодаря повышению газоплотности цилиндров (уплотнение колец в поршневых канавках плотным слоем масла) увеличиваются давление и температура в конце такта сжатия. Это, в свою очередь, приводит к улучшению условий запуска двигателя. В этой ситуации не обязательно использовать смазочное масло 0W или 5W. Но даже при пониженной вязкости масла технология «СУПРОТЕК» позволяет защитить двигатель от повышенных износост.



Повышение компрессии благодаря технологии «СУПРОТЕК» происходит не только при пуске двигателя, но и при высоких температурах и приводит к улучшению качества сгорания топлива, снижению его расхода и улучшению экологических показателей.

Снижение потерь на трение дополнительно дает увеличение максимальной мощности двигателя. Плотный слой масла в маслосъемных поршневых канавках приводит к снижению расхода масла на угар, а на стенках цилиндров – к снижению шума и вибрации (демпфирование перекладки поршня).

Есть еще одна зимняя проблема – при температурах ниже 30 °С изношенные сальники коленвала двигателя (передний и задний) уже не держат масло при таком морозе (дубеют), равно как и сальники коробки (особенно автоматической, где масло обладает повышенной текучестью). В этом случае придется все время контролировать уровень масла в этих агрегатах и периодически доливать его.

Обработанный по технологии «СУПРОТЕК» двигатель и коробка передач в случае аварийной потери масла позволит безопасно доехать до станции технического обслуживания. Это подтверждают и демонстрации автомобилей с работающим без масла двигателем на крупнейших российских и международных автомобильных выставках. По сути дела работа двигателя без масла сравнима с зимним запуском.

Обработку двигателя по технологии «СУПРОТЕК» нужно проводить осенью. До начала первых морозов остается не так много времени. Для того чтобы детали двигателя, обработанного СК «СУПРОТЕК», получили надежную защиту, необходимо провести две обработки: первая проводится путем заливки в старое масло, обязательно за 500...1000 км до замены масла, а после этого в свежее масло добавляется вторая порция СК «СУПРОТЕК». Пройдя после этого примерно 1000 км, получим надежную защиту двигателя от износа.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Официальный сайт представительства СУПРОТЕК [Электронный ресурс]. – 1999. – Режим доступа: <http://suprotex.ru>. – Дата доступа: 25.09.2015.

УДК 621.43

### ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗИМНИХ ШИН

**Н.А. ЛАТЫШЕВ**

*(Представлено: В.В. КОСТРИЦКИЙ)*

*Рассмотрено поведение шин в зимний период, их особенности и типы. Представлен анализ работы летних и зимних шин в условиях эксплуатации в зимний период, результаты которого свидетельствуют о целесообразности использования различных типов шин. Установлено, что шины, соответствующие сезону, являются гарантией стабильности управления транспортным средством.*

**Требования, предъявляемые к летней шине.** Для рисунка протектора летних шин характерно наличие четко выраженных продольных канавок, которые выполняют функцию отвода воды из пятна контакта шины с дорогой и защищают автомобиль от аквапланирования, слабо выраженные поперечные канавки и отсутствие ламелей (рис. 1).



Рис. 1. Внешние отличия протектора зимних и летних шин

Шашки протектора сделаны крупными с целью увеличения пятна контакта с покрытием (заметим, что у шин, предназначенных для высокоскоростных спортивных автомобилей, шашки протектора еще крупнее, а иногда и вовсе сливаются в одну гладкую поверхность – так называемые «слики»).

Нужно учитывать, что при производстве летних шин используются более жёсткие каучуковые соединения. Как результат, летние шины гораздо лучше держат сцепление и имеют лучшие разгонные характеристики автомобиля на сухом асфальте.

Состав летних шин оптимизирован для температур окружающей среды выше  $+5...7\text{ }^{\circ}\text{C}$  (а летом асфальт может нагреться до  $+50...60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). В них используется меньшее содержание каучука и кремний-содержащих полимеров. Различные дополнительные компоненты подобраны таким образом, чтобы обеспечить наилучшие сцепные свойства с покрытием при температурах выше  $+5...7\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ниже этого порога резина протектора твердеет, и ее показатели становятся хуже.

**Основные типы зимних шин:** Рассмотрим основные типы зимних шин:

1. *Зимние шины с повышенной проходимостью* (рис. 2). Отличительные особенности данного типа шин – крупные блоки протектора, широкие и глубокие ламели (канавки), ориентированные преимущественно поперек вектора линейной скорости вращающегося колеса (ориентированные поперек шины). Такой рисунок протектора позволяет наиболее эффективно «загрывать» снег и обладает повышенными характеристиками проходимости в условиях бездорожья. Для городских условий эксплуатации данный тип шин весьма актуален, так как определение «бездорожье» довольно точно описывает типичную ситуацию, когда после снегопада, во-первых, на дороге образуется внушительный, медленно убираемый дорожными службами слой снега, а во-вторых, этот слой затем при помощи дорожных служб превращается в еще более внушительные по высоте снежные отвалы.

К слабым сторонам такой шины можно отнести такие качества, как управляемость автомобиля на асфальте, повышенная шумность и средние показатели торможения на сухом асфальте. Однозначно, эта резина не для высоких скоростей

2. *Зимние шины с универсальным рисунком протектора* (рис. 3). Такой тип зимней резины можно охарактеризовать как некий компромисс сильных качеств, свойственных первым двум рассмотренным типам шин. В итоге получаются довольно средние показатели проходимости и управляемости на всех типах покрытий без каких-либо сильных сторон. Отличительные особенности – умеренная глубина ламелей (7...8 мм), умеренные размеры блоков, имеются как поперечные, так и продольные ламели.

3. *Асимметричный рисунок протектора* (рис. 4). Попытка улучшить характеристики универсального типа шин, когда в одном протекторе с асимметричным рисунком совмещено несколько отличающихся по функционалу зон. Есть зона, отвечающая за проходимость, и зона, отвечающая за управляемость. Такая идея имеет как свои плюсы, так и минусы – площадь каждой зоны получается вдвое меньшей, и есть вероятность занижения их эффективности.



Рис. 2. Шины с повышенной проходимостью



Рис. 3. «Универсальные» шины



Рис. 4. Асимметричные шины

**Виды зимних шин по направленности ламелей.** У зимней покрышки ламели на протекторе (канавки) предназначены для обеспечения курсовой устойчивости, зацепления за дорожное покрытие, отвода снега, воды и слякоти из пятна контакта (рис. 5).

Зимняя шина с преимущественно продольными ламелями обеспечит наилучшую курсовую устойчивость автомобиля на сухом асфальте. Такая шина должна показывать хорошую устойчивость к аквапланированию и отличное торможение на сухом асфальте. Эта шина определенно предназначена для быстрой и комфортной езды по сухому асфальту (рис. 5, а).

Преимущественно поперечные ламели у зимней шины свидетельствуют о повышенной проходимости. Для отведения воды, слякоти и снега ламели зачастую выполняются в виде елочки, при этом «наклонные» линии не сильно вытянуты (рис. 5, а).

Попытка совместить на одном протекторе и продольные, и поперечные ламели является неким компромиссом, когда производитель пытается совместить «проходимость» и «управляемость» в определенных пропорциях. На рисунке представлена все та же елочка, только в середине покрышки «наклонные» линии вытянуты сильнее, они практически превратились в продольные ламели. Представленная на рисунке шина предположительно имеет перевес в сторону «проходимости», при этом очевидно, что и вопросу «управляемости» уделено немалое внимание (рис. 5, в).



Рис. 5. Зимние шины с различным направлением ламелей

**Вопрос необходимости применения шипованных шин.** Шипованная резина обладает рядом особенностей, о которых надо знать.

Преимущества зимних шипованных шин:

- потенциально лучшие показатели сцепления на укатанном снегу и льду, значит и потенциально лучшая управляемость на этих покрытиях;
- потенциально лучшие динамические показатели на укатанном снегу и льду: наименьший тормозной путь, «уверенный» разгон.

Здесь термин «потенциально» подчеркивает тот факт, что рассматриваемые показатели зависят не только от наличия или отсутствия шипов, но также и от конструктивных особенностей, химического состава резины, рисунка протектора, температуры воздуха и дорожного покрытия.

Недостатки зимних шипованных шин:

- шипы ухудшают сцепление на сухом и мокром асфальте, а значит, ухудшают управляемость автомобиля на этих покрытиях, повышается риск заноса;
- на сухом асфальте из-за шипов удлиняется тормозной путь;
- на рыхлом снегу при неграмотных действиях водителя повышается риск закопаться

В итоге, для правильного выбора нужно четко понимать, какие у зимней резины есть сильные и слабые стороны. Такое понимание исключит множество потенциальных ошибок, которые неопытный водитель обязательно будет совершать зимой.

Зимние шины должны сохранять эластичность и сцепные свойства при низких температурах. Поэтому их изготавливают из резиновой смеси с большим содержанием каучука, в них присутствует большое количество кремнийсодержащих полимеров. Кроме того, различные компоненты (активные наполнители, вулканизаторы, смягчающие вещества, противостарители, красители и т.д.) рассчитаны именно на зимнюю эксплуатацию. В результате, шина получается «мягкой» и не твердеет на морозе. Положительные свойства зимней резины начинают проявляться уже при  $+5...-7$  °С, и в полной мере проявляют себя при отрицательных температурах.

Протектор зимней шины имеет специальный, адаптированный для зимних условий рисунок. Он более разреженный и глубокий, с крупными элементами и большим количеством дополнительных канавок.

Большое количество канавок и ребер обеспечивают шине лучшую управляемость на снежном и скользком покрытии, сцепление увеличивается за счет большей площади, которая вступает во взаимодействие с покрытием дороги. Канавки на зимней резине намного шире, чем в летних, поэтому они бы-

стро забьются, а резина потеряет свои сцепные свойства на первых же метрах передвижения. Зимняя шина должна обеспечивать отвод грязи и снега из пятна контакта с покрытием, в то время как летняя ориентирована только на отвод воды.

Таким образом, наличие установленных шин, соответствующих сезону – гарантия стабильности управления транспортным средством, что делает езду безопасной; при выборе типа используемых шин необходимо учитывать примерные условия будущей эксплуатации; при эксплуатации шин не по сезону характеристики управления автомобилем сильно ухудшаются. Если все же возникла необходимость выехать на летних шинах зимой, то выбирайте наиболее чистые участки дороги на пару со снижением скоростного режима езды порядка 25...30 % от привычного, во избежание потери управления автомобилем; экономия на втором комплекте шин для автомобиля может вылиться в его основательный ремонт.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Доносить или переобуться. Нужно ли летом менять зимние шины на летние. Гиперавто [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.hyperauto.ru/articles/detail.php?ID=954>.
2. Что будет если... летом ездить на зимней резине / m2motors портал о каждом авто [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://m2motors.com.ua/avtoceh/1399-chto-budet-esli-ne-smenit-pokryshki-i-v-teplyuy-vesnu-ezdit-na-zimney-rezine.html>.
3. Зимние шины летом – насколько это опасно + видео [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://carnovato.ru/zimnie-shiny-letom-dopuskaetsya-li-takoj-variant>.
4. Автомобильные летние шины, зимние шины и диски, Минск, Гродно, шиномонтаж, купить зимние шины и литые колесные диски, кованые диски для авто шины с доставкой, шипованные импортные шины, подбор и продажа зимних и летних шин автомобильных литых дисков [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.shina.by/article.php?id=47>.
5. Езда летом на зимних шинах. Техническая информация о шинах, статьи и обзоры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nakolesah.ru/information/sumwin.aspx>.
6. Какие бывают типы зимних шин [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.car-tales.ru/schema/base-schema/kakie-byvayut-tipy-zimnix-shin>.
7. Насколько эффективны всесезонные шины зимой [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rezulteo-shina.ru/poleznaja-informatsija-shini/vashi-shini-v-zimnee-vremja-goda/naskolko-effektivny-vsesezonnye-shiny-zimoy-5321#>
8. ОБОЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ШИН – Энциклопедия журнала За рулем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://wiki.zr.ru>.