

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНАЛОГИЙ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ПЛАМЕННЫХ СТРУКТУР В ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

Ковтюх Р.Д., Цымбалов Д.С. (каф. «Информатика», ДГТУ, г. Ростов-на-Дону,
Россия)

Для описания фронта пламени часто используется уравнение Колмогорова – Петровского – Пискунова [1]

$$D \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} + v \frac{\partial c}{\partial z} + Wc^2(1-c) = 0, \quad c(-\infty) = 1, \quad c(\infty) = 0. \quad (1)$$

Автомодельная переменная z в (1) имеет волновую структуру $z = x - vt$, а скорость распространения возмущения v является *собственным значением* краевой задачи. Искомая функция $c(z)$ ассоциируется с формой бегущего в пространстве концентрационного, температурного или прочего параметрического профиля, D – с коэффициентом диффузии, W – темпом превращения (сгорания, заражения или другой локальной трансформации среды). Структура уравнения (1) и свойства его решения сохраняются при смене знака перед слагаемым $v \partial c / \partial z$ и при замене $c^2(1-c) \leftrightarrow c(1-c)^2$ в третьем слагаемом левой части, если соответствующим образом переставить граничные значения $c|_{\pm}$: перечисленные манипуляции с коэффициентами определяют лишь направление движения (*авто*)-солитона [2].

Модель (1) достаточно универсальна: этим обстоятельством оправдывается неослабевающий интерес к эффективным способам ее исследования. Например, можно показать, что уравнение (1) эквивалентно системе нелинейных уравнений с частными производными, описывающей *фотодиссоциацию газа* (ФД) под действием интенсивного УФ излучения [4]. Приведем постановку задачи [3] и докажем эквивалентность соответствующей модели уравнению (1).

Кинетика процессов ФД определяется интенсивностью излучения, его спектральным составом и соответствующими сечениями поглощения. Если интенсивность излучения достаточно велика, химические превращения в волнах ФД существенно неравновесны, т.е. скорости прямых и обратных элементарных реакций заметно отличаются. В этом случае хорошим приближением можно считать следующую постановку задачи. Слой газа из двухатомных молекул с концентрацией c^0 [см⁻³] облучается параллельным пучком света интенсивностью I^0 [см⁻²с⁻¹]. Считается, что: 1) поглощение каждого фотона из пучка приводит к диссоциации поглотившей его молекулы; 2) сечение поглощения молекулами всех фотонов одинаково и равно σ [см²]; 3) продукты фотораспада оптически неактивны; 4) энергетика процесса фотораспада не влияет на его кинетику; 5) в среде нет рассеяния.

Система уравнений переноса излучения и химической кинетики имеет вид

$$\frac{\partial I}{\partial x} = -\sigma c I, \quad \frac{\partial c}{\partial t} = -\sigma c I, \quad (2)$$

где $x, t, I = I(x, t), c = c(x, t)$ – пространственная координата, время, интенсивность излучения и концентрация поглощающих частиц. В [3] получено решение системы (2)

$$I(x, t) = \frac{I^0}{1 + g}, \quad c(x, t) = \frac{c^0 g}{1 + g}, \quad g = \exp \left[\sigma c^0 \left(x - \frac{I^0}{c^0} t \right) \right], \quad (3)$$

которое мы здесь исследуем более подробно, в частности, с целью выявить его место в семействе решений *солитонного* и *автосолитонного* типа.

Постановка 1)-5), (2) удовлетворяет условиям π -теоремы размерностей, следовательно, задача имеет автомодельное решение. Автомодельная переменная z выбирается типа *бегущей волны* $z = x - (I^0/c^0)t$, что соответствует движению профилей $I(z)$ и $c(z)$ в невозмущенный газ со скоростью $u_F = I^0/c^0$. Постоянство значения u_F обеспечивается отсутствием затухания излучения в просветляемой среде. Характерный размер области интенсивных фотопревращений совпадает с длиной пробега фотонов в невозмущенном газе $l = 1/\sigma c^0$.

Рассмотрим этот результат с более строгих в математическом отношении позиций. Решение (3) является *автомодельным*, а его существование обеспечивается законом сохранения частиц и световых квантов в элементарном фотохимическом акте. Переходя к удобным безразмерным переменным $\tilde{I} = I/I^0$, $\tilde{c} = c/c^0$, получаем компактную запись закона сохранения частиц и фотонов

$$\tilde{I} + \tilde{c} = 1. \quad (4)$$

Подстановка (4) в уравнения (2) позволяет свести их к виду

$$\frac{\partial \tilde{I}}{\partial x} = -\sigma c^0 \tilde{I}(1 - \tilde{I}), \quad \frac{\partial \tilde{c}}{\partial t} = -\sigma I^0 \tilde{c}(1 - \tilde{c}). \quad (5)$$

С учетом эквивалентности комбинаций $\tilde{I}(1 - \tilde{I}) = \tilde{c}(1 - \tilde{c})$ из (3.11) следует уравнение переноса для \tilde{I} (и аналогичное для \tilde{c})

$$\frac{\partial \tilde{I}}{\partial x} + \frac{c^0}{I^0} \frac{\partial \tilde{I}}{\partial t} = 0. \quad (6)$$

Характеристиками уравнения (6) служат $dx/dt = I^0/c^0$ или в явном виде

$$x - (I^0/c^0)t = \text{const}, \quad (7)$$

что служит основанием для выбора $z = x - (I^0/c^0)t$ в качестве автомодельной переменной. Новая переменная отвечает пространственному распределению вещества и интенсивности света в связанной с фронтом волны ФД системе координат.

Согласно классификации [2], отличия между *солитонами* и *автосолитонами* – неравновесными устойчивыми структурами в однородных диссипативных системах – заключаются в «энергетическом» источнике, обеспечивающем их существование. Если источник внешний, говорят о солитонах; диссипативные структуры, существующие за счет «автокаталитически» активируемых внутренних (средовых) источников, принято называть автосолитонами. Таким образом, волны горения относятся к автосолитонам, а *сверхзвуковые радиационные волны* [3] – к солитонам. *Принципиально же источником авто- и солитонных структур служит специфическая нелинейность* модельных уравнений, обеспечивающая существование дополнительных инвариантов (законов сохранения) или, другими словами, наличие дополнительной симметрии. В этом смысле между солитонами и автосолитонами нет никакой разницы, и деление диссипативных структур на два названных класса имеет под собой лишь интерпретационную подоплеку. Таким образом, волновые математические структуры оказываются универсальными и могут использоваться в качестве шаблонов при описании множества разнообразных явлений.

Покажем, что распространение волны ФД также адекватно описывается уравнением *Колмогорова – Петровского – Пискунова* (8). Если задача о фотодиссоциации облучаемого УФ-квантами газа сформулирована в рамках допущений 1)-5), системы уравнений (2) и естественных условий на бесконечности

$$\begin{aligned} c(-\infty, t) = 0, \quad c(\infty, t) = c^0, \quad c(x, -\infty) = c^0, \quad c(x, \infty) = 0, \\ I(-\infty, t) = I^0, \quad I(\infty, t) = 0, \quad I(x, -\infty) = 0, \quad I(x, \infty) = I^0, \end{aligned} \quad (8)$$

то ее можно свести к задаче о диффузии излучения в оптически активной среде, описываемой уравнением солитона (1). Кроме того, получаемое методом сведения решение не затрудняет, а наоборот, способствует физической трактовке результата.

Доказательство и обсуждение. Рассмотрим первое из безразмерных уравнений (5). Оно эквивалентно системе (2) вкупе с граничными условиями (8), поэтому примем его за исходную математическую формулировку задачи о волне ФД.

Дифференцируя это уравнение по пространственной переменной и заменяя $\partial \tilde{I} / \partial z$ в правой части результата на равносильное (согласно исходному уравнению) выражение $-\sigma c^0 \tilde{I}(1 - \tilde{I})$, получаем

$$\frac{\partial^2 \tilde{I}}{\partial z^2} + \sigma c^0 \frac{\partial \tilde{I}}{\partial z} + 2(\sigma c^0)^2 \tilde{I}^2(1 - \tilde{I}) = 0. \quad (9)$$

Идентичность уравнений (9) и (7) очевидна: теперь требуется лишь сопоставить условия на границах. Если теперь автомодельную переменную z привязать к граничным значениям (8), имеем

$$\tilde{I}(-\infty) = 1, \quad \tilde{I}(\infty) = 0, \quad (10)$$

что соответствует граничным условиям в модели (8) с точностью до введенной с целью обезразмерить уравнения масштабной величины I^0 .

Умножением обеих частей (9) на $(I^0/c^0)(1/\sigma c^0)$ завершаем преобразование (2) к уравнению Колмогорова – Петровского – Пискунова (1). В результате имеем

$$\frac{I^0}{c^0} \frac{1}{\sigma c^0} \frac{\partial^2 \tilde{I}}{\partial z^2} + \frac{I^0}{c^0} \frac{\partial \tilde{I}}{\partial z} + 2\sigma I^0 \tilde{I}^2(1 - \tilde{I}) = 0. \quad (11)$$

Из (11) непосредственно следует, что роль коэффициента диффузии D играет комплекс $(I^0/c^0)(1/\sigma c^0)$, темпа локальной перестройки среды W – величина $2\sigma I^0$. Собственное значение краевой задачи (10)-(11) $v = I^0/c^0$ совпадает с известным точным решением для скорости асимптотического движения волны горения [3] $v = (WD/2)^{1/2}$.

Эквивалентность моделей (5) и (1) доказана. Кроме того, «всплывшие» при ее доказательстве размерные комплексы I^0/c^0 , $1/\sigma c^0$ и σI^0 появляются и при традиционном рассмотрении [3]: там они осмысливаются как скорость распространения волны ФД, толщина зоны фотореакции и темп превращения. Новым элементом в интерпретации солитонных решений задач о сверхзвуковых радиационных волнах с учетом (11) является трактовка коэффициента диффузии фотонов в невозмущенную среду как характеристики блуждания фотона в среде со скоростью $v = I^0/c^0$ на расстояния порядка длины свободного (до свершения фотохимического акта) пробега.

Аналогичные рассуждения позволяют установить связь модели (2) с солитонной моделью Кортевега – де Фриза, описывающей эволюцию уединенной волны на мелкой воде [4]. Многочисленность солитонных явлений в физике и их широкое применение в искусственных процессах оправдывают актуальность простых математических моделей и наглядных трактовок, варианты которых представлены в данной работе.

Список литературы: 1. Колмогоров А.Н., Петровский И.Г., Пискунов Н.С. Исследование уравнения диффузии, соединенного с возрастанием количества вещества и его применение к одной биологической проблеме / Бюллетень МГУ. Сер. А., 1937. Т.1, Вып. 6. 2. Кернер Б.С., Осипов В.В. Автосолитоны. М.: Наука, 1991. 3. Яценко О.В., Загороднюк В.Т. Компьютерное моделирование задач прикладной физико-химической кинетики. Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2001. 4. Ньюэлл А. Солитоны в математике и физике. М.: Мир, 1989.

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ СИЛ РЕЗАНИЯ ПРИ СВЕРЛЕНИИ

Колесов А.П., Коваленко В.И. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Возникающие в процессе сверления силы резания в значительной степени определяют процесс обработки, оказывая влияние на точность обрабатываемых поверхностей. Исследованию силовых зависимостей при сверлении посвящены многие работы, например [1-3]. Исследования [4] показали, что большое значение имеет соотношение между элементами режимов резания и точностью изготовления сверл, в частности, между подачей на зуб сверла и осевым биением режущих кромок инструмента. В зависимости от вышеуказанного соотношения возможно резание симметричное и асимметричное, двухстороннее и одностороннее. Значения возникающих сил резания при этом будут различны.

Целью работы является выявление закономерностей изменения сил резания вдоль режущей кромки сверла в зависимости от вида процесса сверления. Возникающие закономерности показаны при расчете тангенциальной силы резания на примере обработки стали сверлом с плоской передней поверхностью, режущая часть которого выполнена из твердого сплава.

Одним из основных факторов, оказывающих влияние на процесс резания, в том числе и на возникающие при сверлении силы резания, является толщина среза.

Симметричное резание имеет место при строго симметричной заточке режущих кромок сверла. В этом случае осевое биение режущих кромок инструмента равно нулю.

Обеспечить абсолютно точную (симметричную) заточку режущих кромок сверла практически невозможно; следовательно, обычно реализуется процесс асимметричного резания. Известно, что с точки зрения точности применяют сверла общего назначения и точного исполнения, которые отличаются, в частности, допуском осевого биения режущих кромок сверла.

При реализации процесса резания в зависимости от исходных условий обработки назначается подача при сверлении S_z и выбирается сверло определенной точности.

Допуск осевого биения сверла общего назначения $B_{об}$ всегда больше соответствующего допуска сверла точного исполнения $B_{то}$ ($B_{об} > B_{то}$), при этом возможны пять случаев соотношения подачи на зуб и допусков осевого биения режущих кромок инструмента, - решения А, В, С, D, Е.

Если выполняется неравенство $S_z \geq B_{об}$, то при применении сверл общего назначения осуществляется двухстороннее асимметричное резание и принимается решение «А», а при применении сверл точного исполнения – решение «В». Если выполняется неравенство $S_z \geq B_{то}$, то при применении сверл общего назначения осуществляется одностороннее асимметричное резание и принимается решение «С», а при двухстороннем асимметричном резании с применением сверл точного исполнения – решение «D». Если выполняется неравенство $S_z < B_{то}$, то принимается решение «Е».

Значения максимальной тангенциальной силы резания $P_z(max)$ в зависимости от относительного радиуса $A_x = r_x/r$ (где r – номинальный радиус сверла, r_x – радиус анализируемой точки) при принятии решений А, В, С, D, Е приведены в таблице 1.

Таблица 1. Значения максимальной тангенциальной силы резания $P_z(\max)$, Н по длине режущей кромки сверла в условиях принятия решений А, В, С, D, Е.

$A_x = r_x/r$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Решение	А	22228	22228	17138	15376	14467	13907	13527	13041
	В	17597	17597	13568	12173	11453	11010	10709	10325
	С	12305	12305	9487	8512	8008	7699	7488	7220
	D	11444	11444	8824	7917	7449	7161	6965	6715
	Е	9791	9791	7549	6773	6372	6126	5958	5745

На рис. 1 представлены графики изменения вдоль режущей кромки сверла тангенциальной силы резания P_z при асимметричном двухстороннем резании: кривые 1а и 1б – максимальное и минимальное значения силы резания соответственно. Кроме того, на этом же рис. 1 (для сопоставления) представлена кривая 2, соответствующая случаю симметричного резания. Графики показывают, что при перемещении расчетной точки вдоль режущей кромки, значения силы P_z возрастают от периферии к центру.

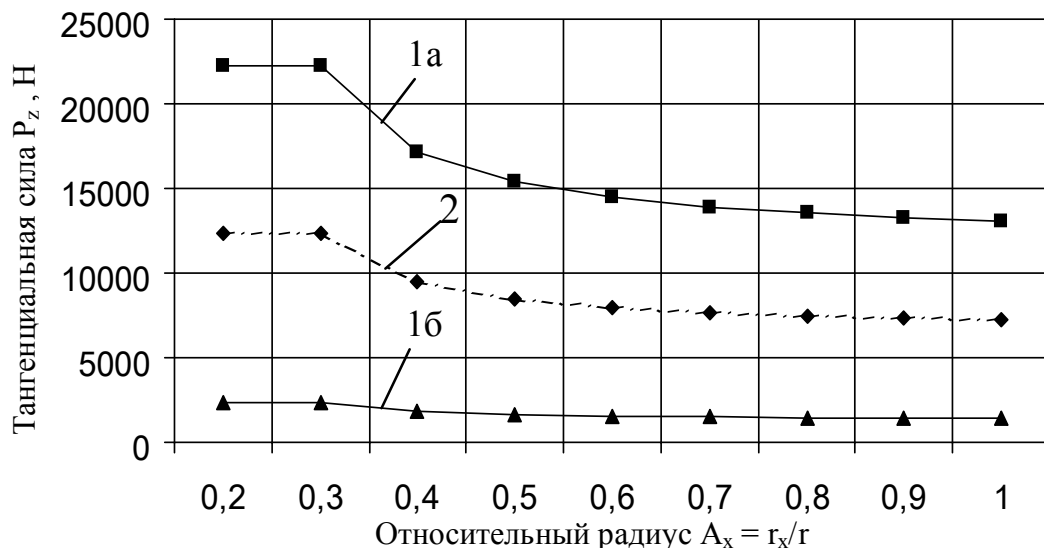


Рис. 1. Изменение вдоль режущей кромки сверла тангенциальной силы резания P_z в условиях принятия решения «А» ($s_z > B_{об}$; сверло общего назначения): 1а и 1б – при асимметричном двухстороннем резании (максимальное и минимальное значения силы резания соответственно); 2 – при симметричном резании.

Для более наглядного сопоставления результатов вычислений, полученных при принятии различных решений, на рис. 2 представлены кривые, показывающие изменение максимальной тангенциальной силы резания $P_z(\max)$ в зависимости от относительного радиуса. Анализ табл. 1 и рис. 2 показывает, что характер изменения силы $P_z(\max)$ для различных исследованных случаев процесса сверления остается неизменным; числовые же значения существенно разнятся.

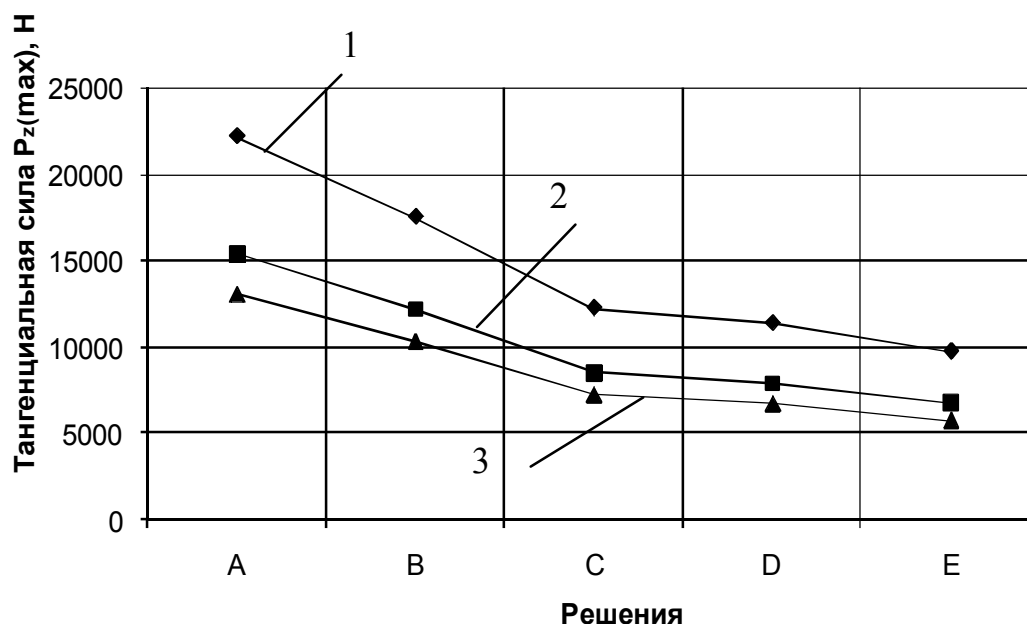


Рис. 2. Изменение тангенциальной силы резания $P_z(\max)$ в зависимости от решений A, B, C, D, E и при разном относительном радиусе A_x :
1 - $A_x = 0.2$; 2 - $A_x = 0.5$; 3 - $A_x = 1.0$;

жесткости системы СПИЗ для сверла общего назначения (решение «А»), когда снимаемые при обработке толщины среза максимальны. При использовании сверла точного исполнения толщины среза уменьшаются и, соответственно, снижаются силы резания (решение «В»). При уменьшении жесткости системы СПИЗ рекомендуемые значения подач уменьшаются; при этом снижаются как толщины среза, так и силы резания P_z (решения «С» и «D»). При малой жесткости системы СПИЗ – например, обработка глубоких отверстий (решение «Е») анализируемые параметры (рекомендуемая подача, толщина среза, тангенциальная сила резания P_z) принимают минимальные значения.

Список литературы: 1. Сурженко А.Н. Совершенствование сборных комбинированных зенкеров за счет допустимого уменьшения узлов крепления режущих пластин. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Донецк, 2001. 16 с. 2. Филоненко С.Н. Резание металлов. - Киев: Вища школа, 1969. – 260 с. 3. Малышко И.А., Коваленко В.И. Влияние биения сверла на силы резания при сверлении // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2003, Вып. 25. С. 234 - 239. 4. Малышко И.А., Коваленко В.И. Расчет тангенциальной составляющей силы резания при сверлении с учетом соотношения подачи на зуб и осевого биения сверла (статья) // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2003, Вып. 29. С. 116 - 121.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОДАЧИ ПАРА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМ КЛАПАНОМ

Ларин К.Е., Ильченко А.Д. (каф. АПП», ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия)

В современном машиностроении на первый план выходит важная задача создания высокоэффективных систем управления различными технологическими процессами. Одновременно, высокая стоимость создания опытных образцов создаваемых технических систем, большая временная продолжительность проведения исследований параметров технологических процессов, низкая точность получаемых результатов и вычислений, произведенных без участия высокоточной компьютерной техники, вывели на передний план задачу проведения исследований технических систем без создания опытных образцов, еще на этапе проектирования. Использование компьютерной техники и современного программного обеспечения позволяют осуществить выполнение высоких требований к точности, надежности и качеству создаваемых технических систем путем получения характеристик проектируемых систем и параметров их работы с использованием современных методов исследования.

Объектом для исследования выбрана система регулирования подачи пара паровой турбине на основе асинхронного двигателя. Система регулирования подачи пара предназначена для поддержания заданной скорости вращения паровой турбины. Функциональная схема моделируемого объекта приведена на рис. 1.

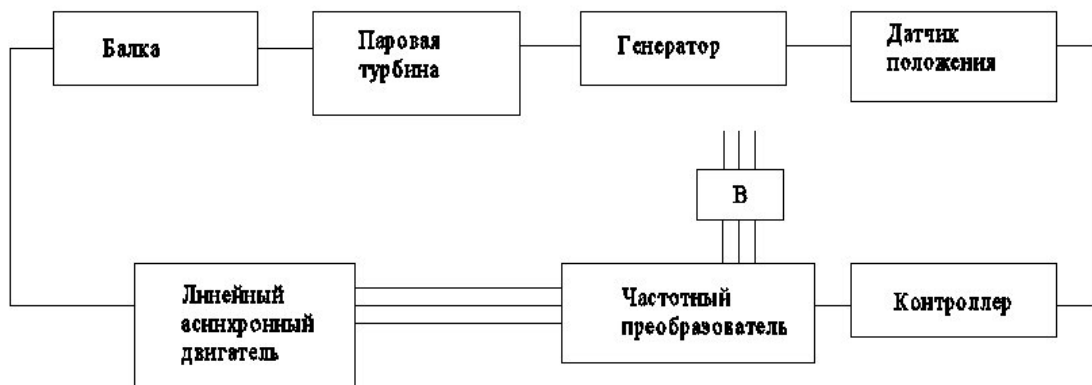


Рис. 1. Функциональная схема моделируемого объекта

Полученная в результате выполнения работы математическая модель имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{d\omega}{dt} = \frac{m \cdot g \cdot r - c \cdot x \cdot r}{J + m \cdot r^2}; \\ \frac{d\alpha}{dt} = \omega; \\ \frac{d\omega_m}{dt} = \frac{k \cdot r \cdot \alpha - M_{эл}}{\eta_m}; \\ \frac{d\alpha_m}{dt} = \omega_m \end{cases}$$

Математическая модель позволяет приступить к моделированию системы в приложении Simulink программного пакета Matlab. В результате получена следующая модель.

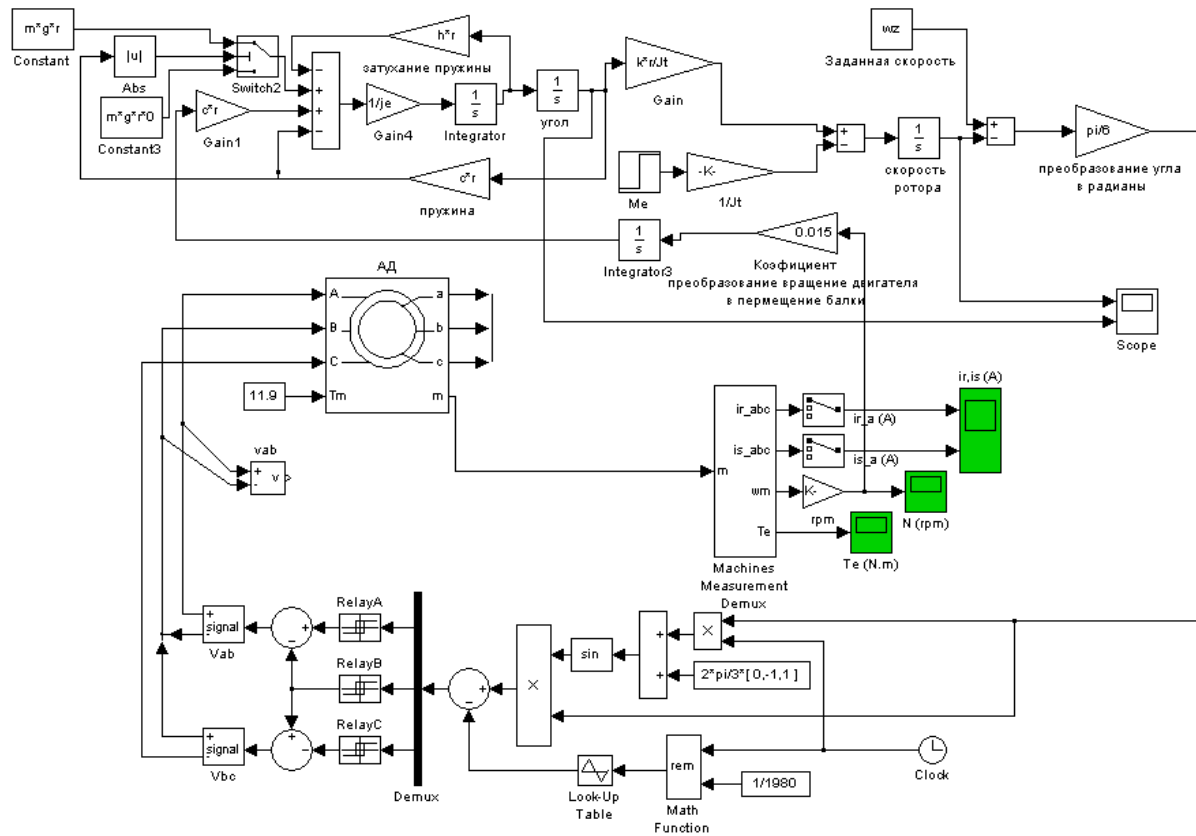


Рис. 2. Модель системы подачи пара, управляемой двигателем

Ниже (рис. 3-5) представлены полученные графики переходных процессов.

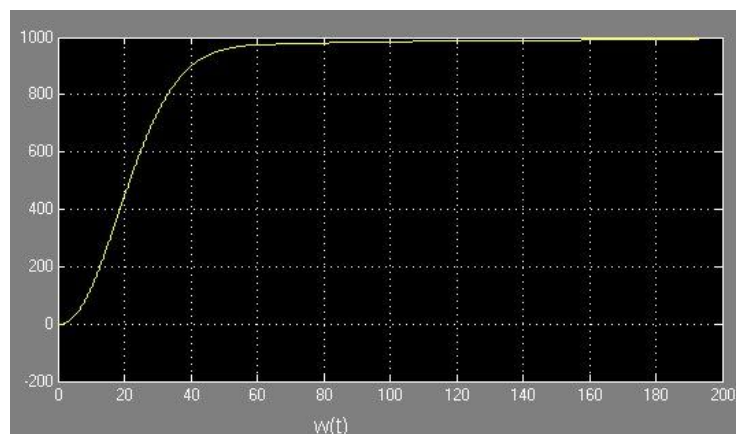


Рис. 3. Переходный процесс скорости турбины

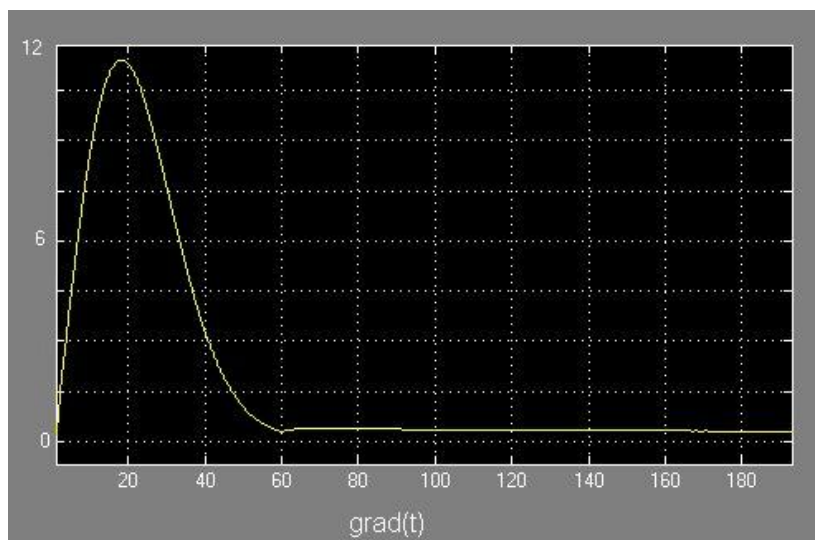


Рис. 4. Переходный процесс угла поворота балки

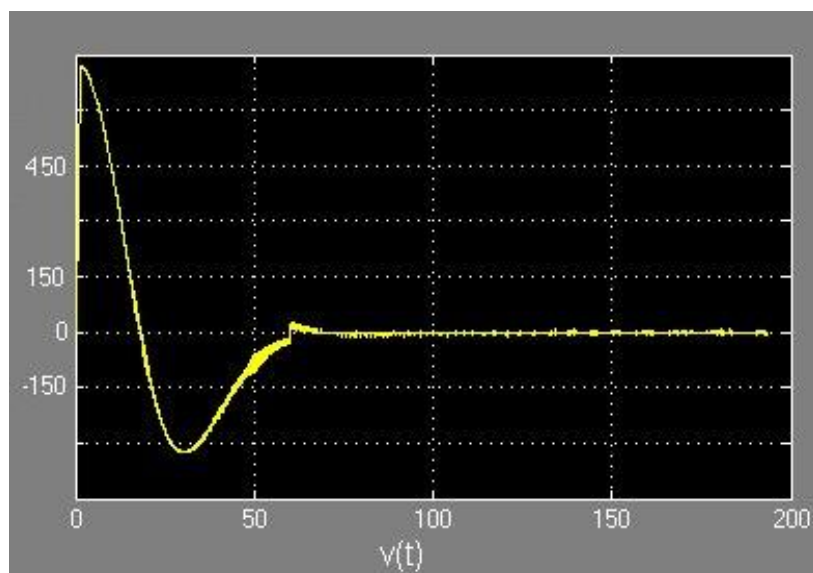


Рис. 5. Переходный процесс скорости ротора двигателя

В ходе выполнения работы были получены следующие результаты: получена математическая модель, составлены уравнения динамики, построены графики переходных процессов. Модель системы получилась устойчивой. Графики переходных процессов свидетельствуют, что благодаря линейному асинхронному двигателю пуск и торможение турбины стали более плавными, что ведет к меньшему износу турбины и лучшим динамическим показателям.

СТВОРЕННЯ МОДЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ ОПЕРАЦІЙ ЗГИНУ ГРАФІЧНОЇ СИСТЕМИ КОМПАС-3D

Лопатов О. О., Алтухов С. С. (каф. НГ і ІГ, ДонНТУ, м. Донецьк, Україна)

Графічна система КОМПАС-3D володіє великими можливостями по створенню креслень будь-якої складності, просторових моделей, складань, специфікацій, текстових документів і багато іншого. Не дивлячись на те, що з кожним роком вона розширюється і доповнюється, вже зараз наявні розділи, ще не реалізовані до кінця, які використовуються рідко в машинобудівній практиці.

До таких розділів можна віднести створення моделей з листового металу із застосуванням операцій згину, які суттєво відрізняються від інших тривимірних формуютьвальних операцій. Тим часом подібні операції можуть бути використані в невластивій ним області – створення виступів та западин різної форми і призначення на торцевій поверхні деталей круглого перетину.

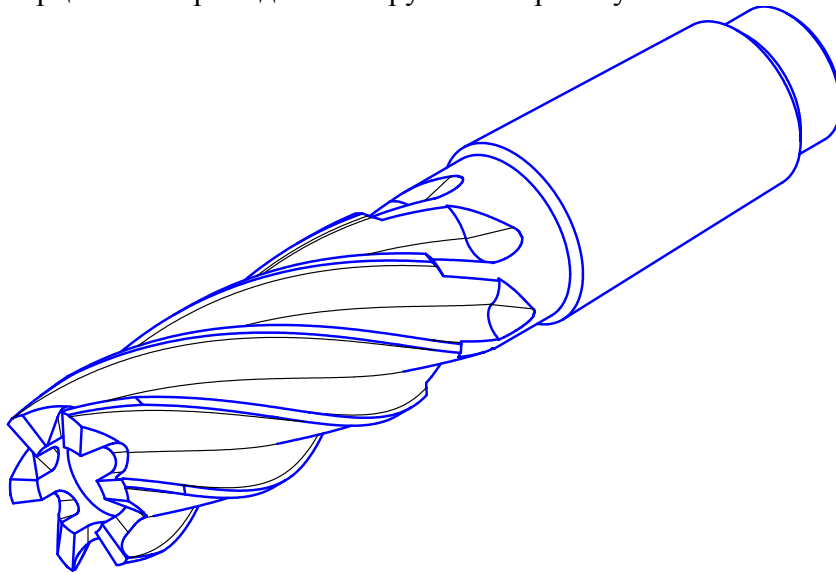


Рис. 1. Модель торцевої фрези

До подібних форм особливого виду можна віднести робочі поверхні торцевих фрез, бурів, всіляких храповиків, зубчастих коліс конічних передач і багато іншого.

На рис. 1 показана модель такої деталі.

Це металообробний інструмент з робочими зубами на торці. Створення моделі такої деталі зв'язане з великою кількістю операцій по виготовленню ріжучих

кромки і площин, що обмежують зуб. Оскільки всі побудови для ескіза необхідно виконувати на якій-небудь площині, підібрати і розташувати такі площини буває дуже

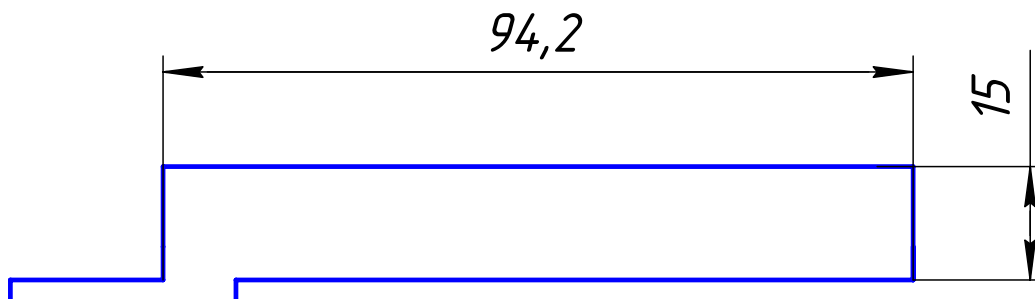


Рис. 2. Ескіз у вигляді прямокутника для побудови циліндра

важко. В порівнянні з цим створення гвинтових канавок для відведення стружки є зовсім не складними операціями.

Нижче показана одна з можливостей створення моделей деталей із зуб'ями особливої форми. Розпочинати слід з побудови розгортки поверхонь для нанесення на них контурів необхідних елементів по дійсних розмірах, побудови по цих ескізах листового тіла, а потім згинанням елементів листового тіла створювати необхідну форму моделі.

Деталь називається храповик колінчастого валу, вона використовується в автомобілебудуванні.

Детально зупинимося лише на тій частині деталі, яка представляє інтерес з погляду виконання її моделі. Це порожнистий циліндр із зовнішнім діаметром 42 мм, внутрішнім – 30 мм, і заввишки 15 мм.

Як перший ескіз (рис. 2) побудуємо розгортку цього циліндра на фронтальній площині проєкцій. Це прямокутник заввишки 15 мм, довжина якого 94.2 мм, що відповідає довжині розгортки кола діаметром 30 мм. Лівий нижній кут прямокутника слід розмістити в точці початку координат. Нижній прямокутник грає допоміжну роль, його розміри можна узяти довільно.

На прямокутник із розмірами 94.2x15 мм нанесемо розгортку храповика з чотирма зуб'ями (рис. 3), так щоб був точний збіг точок лівого краю розгортки з точками на її правій стороні.

Підключимо панель **Елементи листового тіла** і викличемо команду **Листове тіло**. Товщину листа слід узяти як різницю зовнішнього і внутрішнього діаметрів циліндра поділену навпіл, тобто 6 мм. Операцією видавлювання отримаємо майбутню робочу поверхню храповика в розгорненому вигляді.

Наступний ескіз треба взяти на задній стінці моделі. Цей ескіз складатиметься з одного вертикального відрізка, проведеного через початок координат, і його довжина

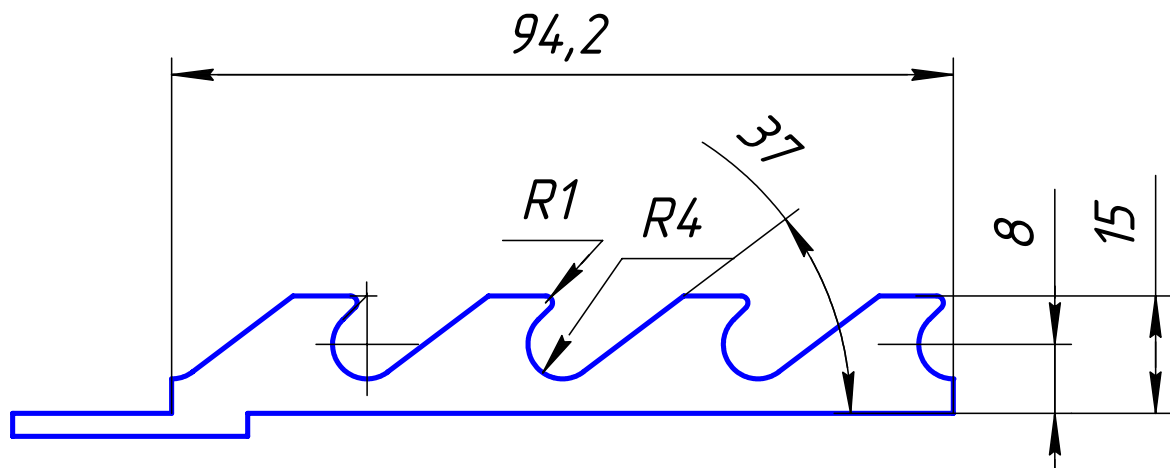


Рис. 3. Ескіз по рис. 2 з нанесеними елементами робочої поверхні храповика

перекриває по висоті весь ескіз.

Після завершення ескіза викличемо команду **Згин по лінії**. Відповідна кнопка розташована на панелі інструментів **Елементи листового тіла**.

На початковій частині моделі курсором послідовно покажемо ребро для згину. Це буде відрізок з попереднього ескіза. Потім покажемо грань, в якій лежить ескіз ребра. Для цього покажемо курсором на задню грань листового тіла, в тій частині, яка розташовується нижче і справа (тіло повернуте задньою стороною!) точки початку координат.

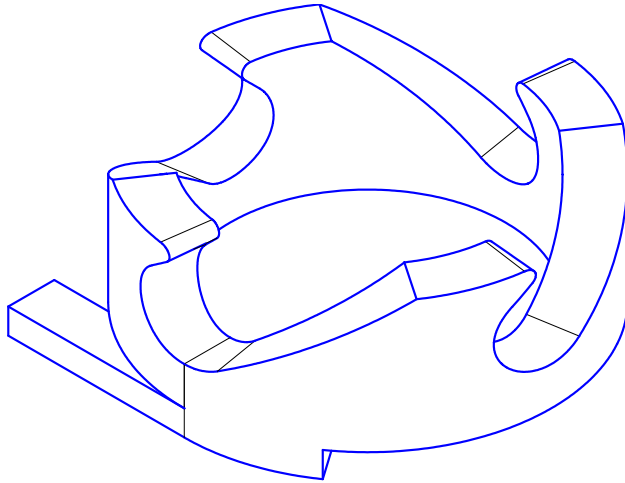


Рис. 4. Результат згину робочої частини храповика

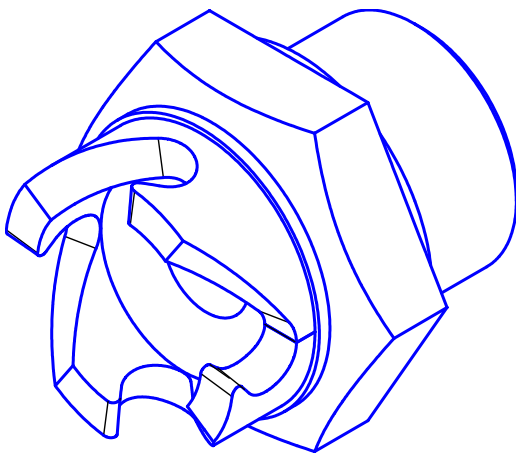


Рис. 5. Модель храповика

Решту параметрів на панелі властивостей встановите таким чином: напрям згину – **Прямий**; нерухома сторона – **Сторона 1**; кут згину – **360°**; спосіб згину – **По лінії згину**, радіус згину – **15 мм**, коефіцієнт нейтрального шару – **0**. Коефіцієнт нейтрального шару визначає положення нейтрального шару по товщині тіла, що згинається. При збільшенні цього коефіцієнта нейтральний шар зміщується до зовнішньої поверхні згину. Створіть операцію.

В результаті цього вийде об'єкт, показаний на рис. 4.

Далі слід видалити непотрібну частину моделі, яка розташована нижче за точку початку координат. Для цього виділіть видиму на рис. 4 площину, що залишилися від нижнього паралелепіпеда, і створіть на ній ескіз у вигляді прямокутника, помістивши в ньому і ту частину нижнього паралелепіпеда, яка піддалася згину.

Застосуйте до цього ескіза команду **Вирізати видавленням**. Встановите прямий напрям вирізування, а спосіб витискування – **Через все**.

Далі до цієї частини моделі приклейте решту моделі, отримання якої не представляє особливих труднощів. Кінцевий результат показаний на рис. 5

Список літератури. 1. Кидрук М. И. КОМПАС-3D V9 Учебный курс. – СПб.: Питер, 2007. – 496 с.: ил.

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ВИТОГО ШНУРА ЗА ДОПОМОГОЮ ГРАФІЧНОЇ СИСТЕМИ КОМПАС-3D

Лопатов О. А., Бережний О. О. (каф. НГ і ІГ, ДонНТУ, м. Донецьк, Україна)

За допомогою графічної системи КОМПАС-3D, яка по зручності використання і простоті її освоєння вважається за одну з кращих, можна створювати графічні документи дуже складних машин і пристроїв. Проте на практиці часто зустрічаються задачі, які при першому знайомстві здаються важко вирішуваними. До таких зразків можна віднести всілякі пружини або подібні ним елементи.

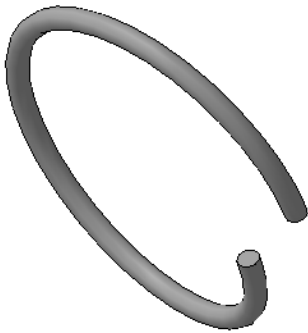


Рис. 1. Наочне зображення витка циліндричної пружини

Як приклад розглянемо модель витого шнура, за допомогою якого телефонна слухавка приєднується до базового апарату. У нарисній геометрії таке геометричне тіло розглядається під назвою кривий циліндр. Він утворюється при просуванні сферичної поверхні уздовж криволінійної направляючої. В роботі об'єкт розглядається як пружина, яка довільно розташована на горизонтальній площині столу, але осі її сусідніх витків не складають пряму лінію. Таким чином, вісь цього об'єкту можна замінити плоскою кривою лінією, яка найхимернішим чином розташована в горизонтальній площині. Природно в розумних межах, оскільки не варто створювати самоперетин осової лінії або перетин сусідніх витків шнура.

На початку побудови створимо один виток звичайної циліндричної пружини. У дереві деталі задамо профільну площину ZY, а на панелі інструментів **Просторові криві** викличемо команду **Спіраль циліндрична**.

Установимо параметри пружини і розмістимо їх на вкладниках панелі властивостей: спосіб побудови спіралі – **По числу витків і шагу**; кількість витків – **1**; шаг витка – **6 мм**; напрямок навивки – **правий**; напрямок побудови – **прямий**; діаметр витка – **30 мм**. Побудова тривимірної моделі витка пружини закінчується командою **Створити об'єкт**.

Включимо горизонтальну площину ZX і створимо перший ескіз. Це буде коло діаметром 2 мм з центром в точці з координатами $Z=15$ мм, $X=0$. Це коло є перетином витка пружини, а її центр збігатиметься з початком витка спіралі.

Коли ескіз завершений можна приступати до побудови витка пружини. Викличемо команду **Кінематична операція**. Як направляюча крива для виконання цієї операції в дереві побудови укажемо на циліндричну спіраль, а як ескіз – укажемо на

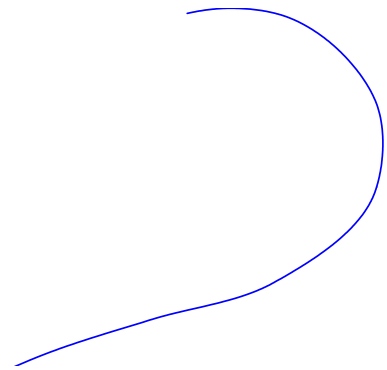


Рис. 2. Вид зверху на ескіз осової лінії, для побудови витого шнура

коло діаметром 2 мм. Створимо операцію (Рис. 1).

Наступний ескіз слід виконати в

горизонтальній площині ZX за допомогою кривої Безьє. Він розташовується довільно, та його початкову точку слід розташувати на початку координат і перші 6 мм сумістити з віссю витка (Рис. 2).

Закінчивши ескіз, включимо команду **Масив уподовж кривої лінії**. На вкладниках панелі властивостей встановимо наступні параметри: спосіб побудови масиву – **По кроку**; крок уздовж траєкторії між сусідніми екземплярами – **6 мм**; кількість витків – **75**; розташування об'єктів – **Довертати до нормалі**.

Для прискорення створення і перебудови масиву встановимо прапорець біля опції **Геометричний масив**.

В дереві побудови послідовно укажемо ескіз у вигляді кривої Безьє і операцію-джерело, тобто виток пружини. Як завжди створення частини тривимірної моделі закінчується командою **Створити об'єкт**.

Декілька важче представляється завдання по створенню плавного переходу від виткої до довільної частини шнура. Для цього необхідно сформувати тривимірну криву, яка б розпочиналася в центрі першого ескіза (коло діаметром 2 мм), була йому перпендикулярна, а закінчувалася паралельно осі цього витка.

Побудови виконаємо, з огляду на учебну літературу по КОМПАС-3D [1].

Активізуємо площину ZY і створимо ескіз за допомогою команди **Дуга** панелі **Геометрія**. У ескізі побудуємо чверть дуги радіусу 15 мм з початковим кутом 0° і кінцевим – 90° .

Включимо панель **Поверхні** і викличемо команду **Поверхня видавлення**. Задавши величину видавлення, наприклад 50 мм, при зворотному напрямі видавлення отримаємо циліндричну поверхню (Рис. 3).

Побудуємо ще один ескіз в площині ZX з півколом радіуса 15 мм, з випуклою частиною до першого витка і координатами центру $X=15$; $Z=15$ мм.

На панелі **Допоміжна геометрія** включимо команду **Лінія розйому**. На панелі властивостей виберемо **Прямий напрям проєкціювання** і вкажемо внутрішню грань поверхні. В результаті на грані буде створена просторова крива лінія, з розташуванням, описаним вище.

Включимо фронтальну площину XY і до отриманого

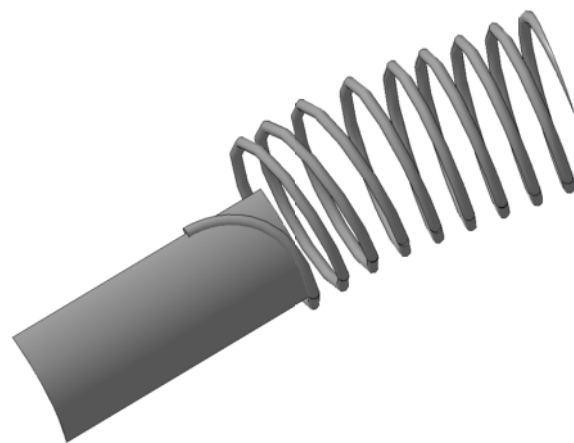


Рис. 3 Побудова просторової лінії за допомогою проєкціювання дуги кола на поверхню видавлення

ребра пристикуємо невеликий відрізок кривої Безьє довільної форми, для імітації не витої частини шнура.

Створимо ескіз на плоскій грані зрізу першого витка, до якого пристиковано просторове ребро. Це коло діаметром 2 мм, що обкреслює контур зрізу витка.

Використовуючи **Кінематичну операцію**, для якої формообразующим ескізом буде коло діаметром 2 мм, а направляющими – просторове ребро, одержане проєкціюванням

половини кола на поверхню видавлення, і ескіз, створений на основі кривої Безьє. Це остання операція по створенню моделі витого шнура, аксонометричне зображення якого представлено на рисунку 4.

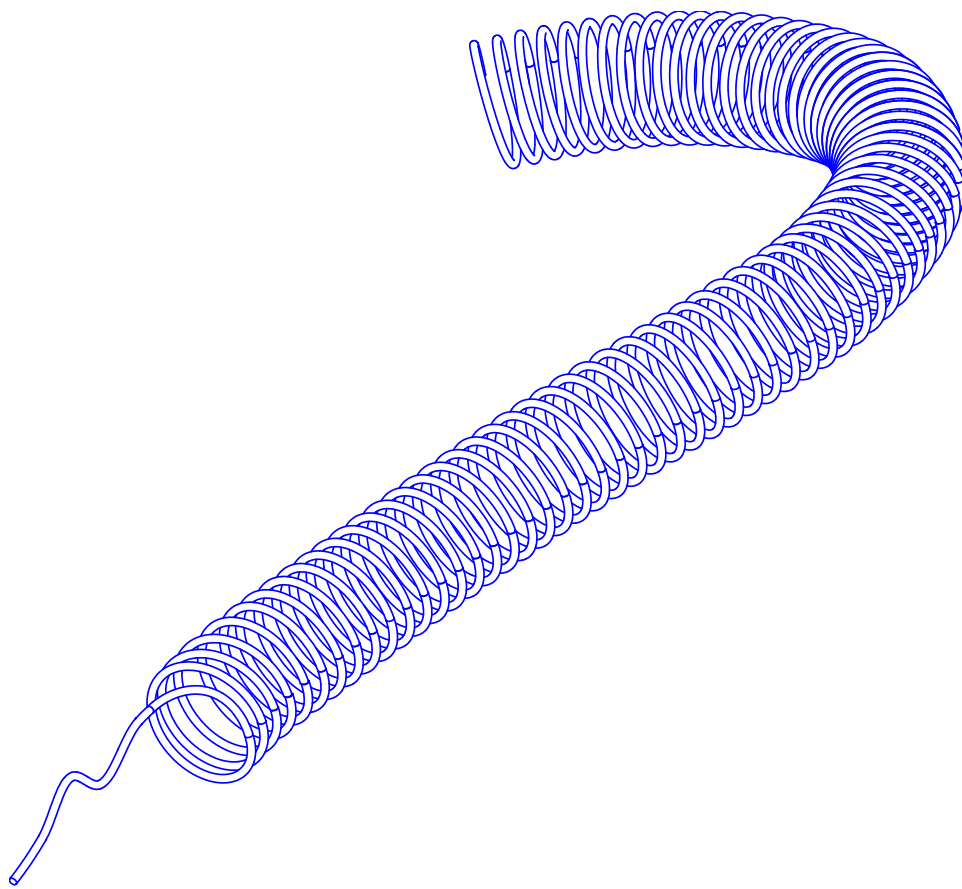


Рис. 4. Наочне зображення витого шнура, лежачого на горизонтальній площині проєкцій

Список літератури. 1. Кидрук М. И. КОМПАС-3D V9 Учебный курс. – СПб.: Питер, 2007. – 496 с.: ил.

ИЗМЕНЕНИЕ МИНИМАЛЬНОГО ПОТОКА В ТУРБИНАХ С МЕНЯЮЩЕЙСЯ ГЕОМЕТРИЕЙ (VNT) В РЕЖИМЕ НОРМАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ТУРБОНАДДУВОМ

Вестартас А., Мороз О.К. (ВГТУ, ДонНТУ, г.Вильнюс, г.Донецк, Литва, Украина)

Турбокомпрессоры в дизельных двигателях уже стали привычными для автомобильного транспорта. Возникающие в процессе эксплуатации новые цели требуют поиска новых технических решений, одним из которых, например, являются так называемые турбины с меняющейся геометрией VNT (Variable Nozzles Turbine) или VGT (Variable Geometry Turbine). В дизельных двигателях легковых автомобилей данный вид турбин используется более пяти лет, однако сам их принцип известен по меньшей мере, лет тридцать. В бензиновых двигателях использование VNT пока находится в экспериментальной стадии. Причинами попыток применения данного рода турбин – развитие двигателя, стратегия уменьшения его геометрических параметров (downsizing), связанные с этим новые требования эмиссионных стандартов, а так же экономия топлива. Только за счет применения турбин VNT, VGT и электронных актуаторов (REA – Rotary Electric Actuator) возможно уменьшить физические размеры двигателя на 10-30%, и достичь 6-17% экономии топлива. Однако в сегменте грузовых автомобилей VGT делает лишь первые шаги. Это прежде всего связано с большими потоками выхлопных газов и соответственно изменениями таких параметров, как температура и величина сил, действующих на лопатки турбины. Однако в скором времени и эти проблемы должны найти свое решение.

Меньшие по величине действующие силы в двигателях легкового транспорта позволяют использовать лопатки с осью с одной стороны. На грузовом транспорте уже ведутся эксперименты с двумя осями. Что представляет собой более сложную технологию сборки механизма.

В режиме нормальной эксплуатации параметры турбин с меняющейся геометрией изменяются. Поэтому в данной статье анализируется именно такая мало изученная тема, как изменение минимального потока в турбинах в течение их эксплуатации. Рассматривается минимальный поток, калибровка под него турбины, его технические параметры, которые в дальнейшем сравниваются с параметрами новой турбины.

В турбинах с меняющейся геометрией при изменении геометрии статора изменяются характеристики потока выхлопных газов, в зависимости от таких заданных параметров, как, например, необходимое количество поступающего в цилиндры воздуха. Его поступление должно происходить как можно быстрее, и таким образом, максимально снижать замедление акселерации компрессора. Необходимый поток воздуха зависит от ускорения потока выхлопных газов и его направления под определенным углом и с минимально возможными потерями на лопатки ротора. Это может быть реализовано в случае применения управляемых лопаток, и установкой угол, необходимого для быстрого ускорения или прохождения газов.

Поток выхлопных газов зависит от размера двигателя, параметров сгорания и др. В зависимости от расхода необходимого для сгорания воздуха, и учитывая потери при передаче энергии компрессору, в подшипниках подбирается колесо турбины и статор с соответствующей геометрией лопаток. Механизм турбины VGT (схематически представлен на рисунке 1) должен быть откалиброван на технически возможный максимальный и минимальный потоки выхлопных газов технически исправного двигателя.

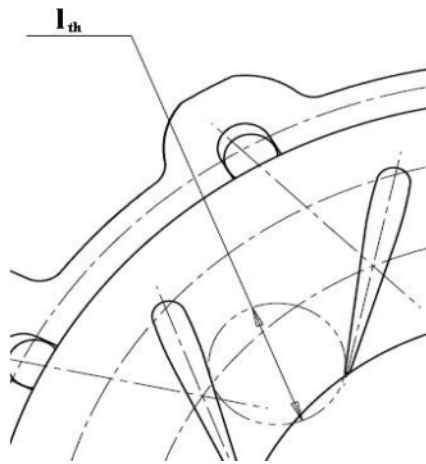


Рис. 1. Механизм VGT

Каждый турбокомпрессор с VGT имеет точки так называемого мягкого и жесткого фиксирования. Точкой жесткого фиксирования лопаток в VGT называется крайняя позиция, определяемая механически (болт, выступы и т.д.), при которой лопатки физически не могут шире открыться или больше закрыться. Точка мягкого фиксирования устанавливается во время калибровки актуатора и привода, при этом он должен находиться между точками жесткого сцепления и не выходить за них. Способ калибровки зависит от типа актуатора и используемого привода. Калибровка пневматического актуатора производится при изменении длины соединения между движущимся элементом актуатора и коромыслом управления VGT. В электронных актуаторах элемент управления программируется. Калибровка проводится в специальных аппаратах, где вместо выхлопных газов используется сжатый воздух, а колесо турбины фиксируется. Параметрами калибровки являются минимальный и максимальный поток газа, который определен параметрами двигателя и приведен в характеристиках соответствующего турбокомпрессора. Основной характеристикой является минимальный пропускаемый поток, который при определенном давлении газов (обычно 30кПа) проходит через полностью закрытые лопатки. Поток газов определяется по формулам 1 и 2:

$$\dot{m} = \rho C b l_{th} z \quad (1)$$

где: \dot{m} - массовое количество потока газов, кг/с; ρ - плотность газов, кг/м³;

$$\rho = \frac{p}{RT} \quad (2)$$

где: p - давление, кПа; R - константа для газа кДж/(кг·К); T - температура, К; C - скорость газового потока, м/с; b - высота лопаток, м; l_{th} - номинальное расстояние между двумя лопатками, м; z - количество лопаток.

На основании этого можно сделать предварительные выводы о том, что именно при нормальном режиме эксплуатации могут повлиять на изменение потока выхлопных газов, протекающих через турбину VNT в течение заданного промежутка времени. Такие факторы, как состояние самого двигателя, определяющее качество сгорания воздушно-топливной смеси, давление газового потока, его скорость, а значит и возможное изменение состава выхлопных газов в течение эксплуатации, что влечет за

собой изменение геометрических характеристик (высоты лопаток и номинального расстояния между ними) механизма VNT во времени.

Экспериментальные данные были получены путем сравнения и анализа минимальных потоков турбокомпрессоров двух групп деталей, находящихся в хорошем техническом состоянии, при изменении параметров потока турбокомпрессоров с диаметром колеса 49 мм и 44 мм соответственно. Данные турбокомпрессоры используются в дизельных двигателях легковых автомобилей с VNT третьего поколения (49 мм – в двигателях с рабочим объемом 2 л, и 44 мм – 2,7 л соответственно). Сравнивались величины минимального потока в турбинах в зависимости от срока эксплуатации и величины пробега, что наглядно изображено на рисунке 2. Для нового турбокомпрессора с колесом турбины в 49 мм поток калибруется на $80,5 \pm 1,5$ кг/ч, для 44 мм – $78,5 \pm 1,3$ кг/ч. Из каждой серии деталей было отобрано не менее 30 турбокомпрессоров (минимальная статистически значимая выборка).

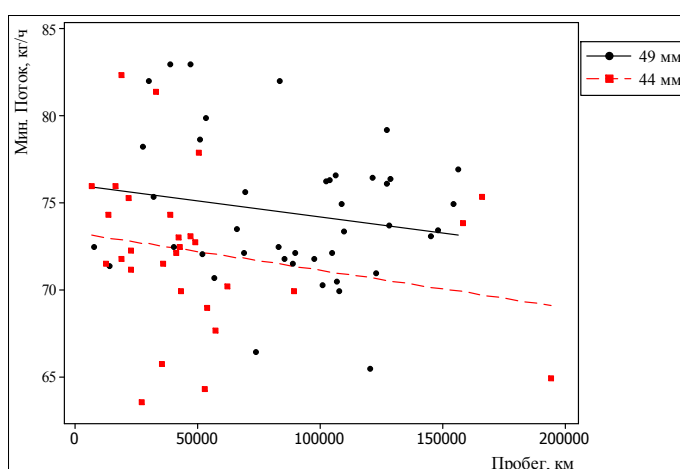


Рис. 2. Изменение минимального потока выхлопных газов в зависимости от срока эксплуатации турбокомпрессора

На основании рисунка 2, можно определить общую тенденцию снижения минимального потока выхлопных газов при увеличении сроков эксплуатации турбокомпрессора. В среднем, на каждые 100 тыс.км пробега минимальный поток снижается на 2 кг/ч, что согласно требованиям спецификаций для новопроизведенных турбокомпрессоров является неприемлемым.

На рисунке 3 наглядно изображены причины изменений параметров потока выхлопных газов в течение эксплуатации турбины. В течение эксплуатации меняются геометрические параметры турбины VNT или VGT, а также характеристики потока выхлопных газов. Лопатки турбины покрываются продуктами сгорания, которые, прилипая, меняют высоту лопаток и номинальное расстояние между ними. Поэтому важное значение приобретает качество работы са-мого двигателя и его калибровка, которая гарантирует правильное управление процес-сом горения и минимальное изменение состава выхлопных газов в течение эксплу-атации. Безусловно, большое влияние на изменение этих параметров оказывают используемые эксплуатационные материалы, а так же проведенное о техническое обслуживание двигателей. Для легковых автомобилей типичным является тот факт, что большой поток выхлопных газов может изменить положение лопатки одноосевой турбины. Потому снижение расстояние между лопатками, представляет серьезную проблему для



Рис. 3. Причины изменения параметров потока выхлопных газов через VNT

турбокомпрессоров грузовых автомобилей. На первоначальной стадии проектирования для предотвращения значительных поломок или изменений в турбинах очень важно знать и учитывать эти параметры а также при принятии решений при подборе мате-риалов, деталей турбины и двигателя.

Изменение характеристик изменяет величину крутящего момента и скорость оборотов колеса турбины, что может повлиять на количество всасываемого компрессором воздуха и быть причиной поломок. На практике принимается минимально допустимое изменение потока для турбин легковых автомобилей не более 10 кг/ч, однако эта величина не является строго установленной и может меняться в зависимости от калибровки двигателя и от других параметров.

По данной статье можно сделать следующие выводы:

1. В работе представлен анализ изменений параметров потока выхлопных газов двигателя, оснащенного турбиной с меняющейся геометрией VNT (Variable Nozzles Turbine) в период нормальной эксплуатации.
2. В эксперименте использованы данные потока выхлопных газов турбин с разными сроками эксплуатации. Были отобраны турбины из двух серий, с разными геометрическими размерами и параметрами калибровки. Экспериментально установлено, что для VNT третьего поколения минимальный поток снижается в среднем на величину около 2 кг/ч на каждые 100 тыс.км.
3. Представлены причины этих изменений. Основные причины – количество выхлопных газов и их составляющие. Имеют место другие эксплуатационные и технологические причины.

Список литературы: 1. Watson N., Janota M. S. Turbocharging the Internal Combustion Engine : The Macmillan Press LTD, 1982. - 609 с. 2. Van Basshuysen R., Schäfer F. Modern Engine Technology from A to Z. SAE International., 2007. – 1047 с. 3. Balis C., Middlemass Ch. Design and Development of E-Turbo for SUV and Light Truck Applications / Diesel Engine Emissions Reduction Conference, - 6 с. 4. Serrano J. R., Arnau F. J. A model of turbocharger radial turbines appropriate to be used in zero and one – dimensional gas dynamics codes for internal combustion engines modelling / Energy Conversion and Management, стр. 3729 – 3745. 5. Eriksson L. Modeling and Control of Turbocharged SI and DI engines / Oil and Gas Science and Technology – Rev. IFP. 2007, т. 62, № 4, стр. 523 – 538.

МЕТАЛЛЫ, АРМИРОВАННЫЕ УГЛЕРОДНЫМИ ВОЛОКНАМИ

Николаев И.В., Рыбинская Т.А., Шаповалов Р.Г. (*кафедра механики, ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия*)

Металлы, армированные углеродными волокнами – молодые материалы. Они обладают рядом достоинств, которые отсутствуют у углепластиков: высокой теплостойкостью (большей, чем у углепластиков), прочностью в направлении, перпендикулярном ориентации волокон, прочностью при сжатии (продольном изгибе) и другими ценными свойствами. Поэтому в настоящее время над их созданием активно работают во многих странах. Информация о новейших зарубежных достижениях в этой области по сравнению с количеством публикаций об углепластиках весьма ограничена. Тем не менее, известно, что появились различные типы металлов, армированных углеродными волокнами, и разработаны всевозможные методы их формования и переработки. Соответственно физические характеристики таких материалов также различны. Согласно схеме технологического процесса производства металлов, армированных волокнами, по мере надобности для улучшения смачиваемости волокон металлом и адгезии с ним, а также для регулирования реакционной способности поверхности волокон на них наносят покрытие или осуществляют другую предварительную обработку волокон. Затем формируют полуфабрикаты или так называемые исходные элементы металлокомпозитов. Полученные полуфабрикаты разрезают в соответствии с требуемыми размером и формой, складывают, ориентируя их в нужном для данной конструкции направлении, и затем осуществляют формование. После этого проводят окончательную обработку изделия - склеивание отдельных частей, механическую обработку и т. д. Исследована возможность применения в качестве матрицы различных металлов: алюминия, магния, меди, никеля, кобальта и многих других. Наиболее эффективными для применения на практике оказались алюминий, магний и другие легкие металлы. Армирующие углеродные волокна являются хрупкими и не обладают способностью к пластическим деформациям. Этот фактор ограничивает выбор методов переработки металлокомпозитов. В зависимости от геометрии и свойств полуфабрикатов, являющихся промежуточным материалом для получения армированных металлических изделий, используются различные методы формования металлов, армированных волокнами. Для армированного углеродными волокнами алюминия применяют методы горячего прессования (металлическая матрица остается в твердом состоянии), горячего вальцевания, горячей вытяжки и жидкофазного горячего прессования (металлическая матрица в процессе формования проходит стадию жидкого или жидкокристаллического состояния). Для формования изделий из армированных металлокомпозитов необходимо:

1. Создать такую пластическую деформацию металлической матрицы, при которой разрушается оксидная пленка на поверхности алюминия.
2. Для предотвращения дефектов и повреждения волокон вести процесс деформирования полуфабриката при достаточно высокой температуре и в течение длительного времени.
3. В то же время для исключения разрушения волокон в результате реакции на границе раздела волокно – металлическая матрица стремиться проводить формование при возможно меньшей температуре и в течение короткого промежутка времени.
4. Не допускать высокотемпературного окисления материала.

Среди армированных углеродными волокнами металлов наиболее хорошо изучены металлокомпозиты с алюминиевой матрицей. Однако даже для этого композиционного материала не решена проблема совместимости волокон и металлической матрицы. Опубликованные до настоящего времени данные касаются в основном методов производства полуфабрикатов и методов формования изделий, которые пока нельзя признать достаточно научно обоснованными и оптимизированными. Прочность армированного углеродными волокнами алюминия в поперечном направлении ниже, чем у других материалов. В США армированный углеродными волокнами алюминий производится из полуфабрикатов в виде проволоки, полученных методом пропитки в расплаве. Можно ожидать, что коррозионные свойства армированных металлов при контакте металлической матрицы с углеродными волокнами будут ухудшаться вследствие электрохимической коррозии. При эксплуатации изделий из армированных волокнами металлов следует, по-видимому, предусматривать защиту внешней поверхности материала (плакирование) металлом, используемым в качестве матрицы (обычно плакирование осуществляют одновременно с формованием), производить окраску, металлизацию или другую обработку поверхности композиционного материала. В настоящее время композиционные материалы на основе алюминия и борных волокон применяют на практике в качестве трубчатых ферм орбитального отсека космического корабля «Space Shuttle», в конструкциях фюзеляжей самолетов, для изготовления лопастей вентиляторов и других деталей самолетов. По сравнению с опытом использования других композиционных материалов примеров практического применения металлов, армированных углеродными волокнами, пока еще сравнительно мало. Однако последние могут оказаться весьма перспективными по следующим причинам:

1. Стоимость углеродных волокон ниже, чем борных волокон или волокон на основе карбида кремния.

2. Технология получения полуфабрикатов из углеродных волокон эффективна с точки зрения массового производства, так как опирается на уже разработанные методы нанесения металла на волокна из расплава, ионной металлизации и другие.

3. Углеродные волокна (в частности, высокомодульные пековые волокна) характеризуются хорошей совместимостью с алюминием, магнием и другими металлами. Наличие разнообразных типов углеродных волокон, выпускаемых в различных странах в промышленном масштабе, позволяет выбрать оптимальный вариант волокон для каждого конкретного случая.

4. Металлы, армированные углеродными волокнами, поддаются тем же методам механической обработки, которые используются для обычных металлических материалов.

5. При использовании в космических аппаратах композиционные материалы на основе углеродных волокон и алюминиевой или магниевой матрицы имеют, в частности, более высокую стабильность размеров при изменениях температуры, чем металлы, армированные борными волокнами.

Среди различных конструкционных материалов, которые предполагается использовать для создания искусственных спутников Земли и космических систем, одни из наиболее подходящих материалов - алюминий или магний, армированные углеродными волокнами. Материалы для искусственных спутников Земли и космических систем должны быть легкими, обладать высокой жесткостью и стабильностью размеров под действием температурного градиента и колебаний температуры. Эти характеристики можно оценить, исходя из таких основных

параметров, как удельный модуль упругости, теплопроводность и коэффициент теплового расширения. Композиционные материалы на основе алюминия (и в еще большей степени магния) и высокомодульных пековых углеродных волокон марки Р 100 (модуль упругости 714 ГПа) имеют высокие значения удельного модуля упругости, высокую теплостойкость и больше подходят для создания космических конструкций, чем другие материалы. В США ведутся интенсивные работы, направленные на применение этих композиционных материалов для изготовления деталей космических аппаратов, и, в частности, для изготовления несущих элементов современных крупногабаритных космических солнечных панелей. В настоящее время исследуется возможность применения металлов, армированных углеродными волокнами, для изготовления планеров самолетов, жестких элементов конструкций, лонжеронов, а также для снижения массы пропеллеров, лопаток компрессоров, задних кромок лопастей несущего винта вертолетов и других вращающихся деталей. Вследствие высокого удельного модуля упругости композиционного материала на основе алюминия и углеродных волокон перспективным является его использование в производстве коробок трансмиссии вертолетов, подвергающихся высоким вибрационным нагрузкам. Применение металлов, армированных углеродными волокнами в производстве электротехнических деталей, подшипников и шестерен. Такое применение обусловлено, с одной стороны, электропроводностью и, с другой стороны, самосмазывающимися свойствами материалов на основе углеродных волокон. Введение углеродных волокон в композиционный материал уменьшает скорость износа и коэффициент трения, повышает стойкость к задирам поверхности и т. д. Недавно проводились испытания на скоростной износ находящегося под электрическим напряжением композиционного материала на основе углеродных волокон и сплава Cu – Sn. Показано, что для уменьшения скорости износа необходимо увеличить прочность связи на границе раздела волокно – металлическая матрица. С этой целью в композиционный материал вводили добавки титана. Образующийся при этом на границе раздела карбид титана повышает износостойкость материала и резко снижает скорость износа материала. Промышленное производство металлов, армированных углеродными волокнами, еще не получило достаточного развития; в технологии их изготовления имеется много нерешенных проблем. Высокая стоимость все еще служит серьезным препятствием для внедрения этих материалов в промышленность. В связи с этим армированные углеродными волокнами металлы предполагается применять пока только в тех областях техники, в которых можно, пренебрегая стоимостью материалов, достичь большого технического эффекта. В первую очередь это относится к космическим аппаратам и самолетостроению, где особенно важно снизить вес конструкций независимо от стоимости используемых при этом материалов.

Список литературы: 1. Щука А.А. Нанoeлектроника. – М.: Физматкнига, 2007. – 464 с. 2. Герасименко Н.Н., Пархоменко Ю.Н. Кремний – материал нанoeлектроники. – М.: Техносфера, 2007. – 352 с.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРШИН ОРИЕНТИРОВАННО РАСПОЛОЖЕННЫХ АБРАЗИВНЫХ ЗЕРЕН В ЭЛАСТИЧНОМ ШЛИФОВАЛЬНОМ ИНСТРУМЕНТЕ

Новосельцева Е.Н., Байков А.В. (каф. ТМ, ДонНТУ, Донецк, Украина)

Формирование шлифованной поверхности является результатом взаимодействия режущих элементов алмазного инструмента с обрабатываемым материалом, поэтому характер геометрии рабочей поверхности шлифовального круга (РПК) оказывает первоопределяющее значение на показатели качества обработанной поверхности. Основными параметрами, которыми характеризуют геометрию РПК, являются количество алмазных зерен на единице площади поверхности инструмента, закон распределения вершин зерен по высоте и радиус округления вершин зерен. Как интегральный показатель рассматривают параметры относительной опорной кривой профиля на различных уровнях и параметра аппроксимации верхней части опорной кривой [1,2,3,4].

Несмотря на большое количество экспериментальных и теоретических исследований в настоящее время не существует единой общепризнанной модели геометрии РПК. Это, в частности, обусловлено как применением различных методов определения ординаты вершины алмазного зерна (метод профилографирования, оптический метод, метод светового сечения, метод шлифования клина с малым углом подъёма и др.), так и различной наследственностью состояния РПК: применение различных методов восстановления режущей способности инструмента, оценка РПК после обработки различных материалов и на различных режимах [1,3].

Одной из важнейших характеристик РПК является закон распределения вершин зерен. Знание закона распределения высоты выступания алмазных зерен над уровнем связки необходимо для решения задач определения количества зерен, активно участвующих в диспергировании обрабатываемого материала, а, следовательно, производительности шлифования и качества обработанной поверхности.

На закон распределения вершин зерен по высоте оказывает влияние большое количество случайных факторов: размер абразивного зерна, распределение центров зерен в матрице инструмента, направление ориентации зерна, характер и степень разрушения алмазного зерна при воздействии на него обрабатываемого материала, прочность его удержания в связке и т.д.

Обычно закон распределения вершин зерен над уровнем связки получают аппроксимацией экспериментальных данных. Вследствие указанного разные исследователи предлагают описывать распределение вершин зерен нормальным [5], параболическим [3], распределением Вейбулла [6,7] и другими законами.

Для определения закона распределения высоты выступания абразивных зерен данного инструмента были изготовлены специальные абразивные бруски на эластичной полимерной связке. Ориентирование абразивных зерен, покрытых ферромагнитным материалом, осуществлялось в постоянном магнитном поле. Размеры абразивных зерен после покрытия соответствовали зернистости 160/100. Вскрытие абразивного слоя проводилось шлифованием поверхности изготовленных брусков кругом 250×30×51 14А 25 8 К5 ГОСТ 2424-80 на станке 3Г71. Запись рельефа поверхности абразивных брусков проводилась на профилографе-профилометре модели 252 ГОСТ 19300-73. Фрагмент профилограммы приведен на рис 1.

Обработка профилограмм заключалась в определении разновысотности абразивных зерен относительно наиболее выступающего зерна.

Результаты обработки профилограмм представлены в табл.1.



Рис. 1. Пример профилограммы рабочей поверхности эластичного шлифовального бруска

Таблица 1. Результаты обработки профилограмм

N ^o	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
относ. Высота	2	4	10	10	10	10	10	10	12	12	14	16	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	20	20	20	20	20	22	22	22	22
N ^o	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68
относ. Высота	22	24	24	24	24	24	24	26	26	26	26	26	26	30	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	30	30	30	30	30	30	30
N ^o	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102
относ. Высота	32	32	32	32	32	32	32	32	34	34	36	36	36	36	36	36	36	36	38	38	38	38	38	38	38	40	40	40	40	40	40	40	40	
N ^o	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136
относ. Высота	40	40	40	40	40	42	42	42	42	44	44	44	44	44	44	46	46	46	48	48	48	48	48	52	52	52	56	56	56	56	56	58	64	66

По полученным экспериментальным данным рассчитываем основные параметры закона распределения. Промежуточные расчеты сводим в таблицу 2.

Таблица 2. Значения промежуточных расчетов

N ^o	Интерв. H	Интерв. K	Середина интервала	Частота эксперим. t	t _i	z	m	N _i	N _m	N _i /N _m
1	0	8,25	4,125	2	184	0,0734	3,76	2	3,76	176
2	8,25	16,5	12,375	10	128	0,3836	19,18	12	22,94	10,94
3	16,5	24,75	20,625	29	0,45	0,3752	18,76	41	417	0,7
4	24,75	33	28,875	35	0,09	0,3973	19,865	76	61565	14,435
5	33	41,25	37,125	31	0,38	0,3712	30,935	107	925	14,5
6	41,25	49,5	45,375	18	0,65	0,3230	17,95	125	11045	14,55
7	49,5	57,75	53,625	8	148	0,1314	7,85	133	118,3	14,7
8	57,75	66,1	61,875	3	204	0,0498	2,5	136	120,8	15,2

На рисунке 2 представлена гистограмма распределения.

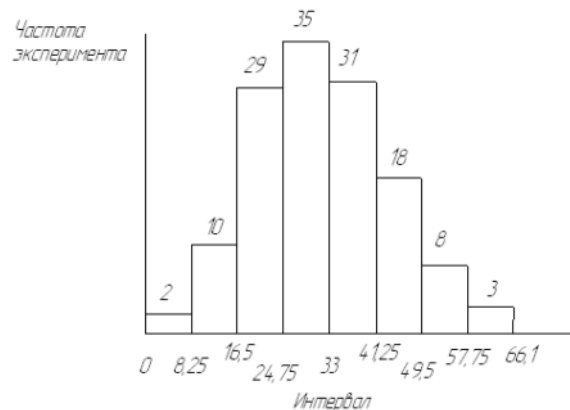


Рис. 2. Гистограмма распределения

На основании гистограммы распределения можно предположить нормальный закон распределения вершин зерен по высоте. Уравнение кривой нормального распределения будет иметь вид:

$$y = \varphi(x) = \frac{1}{14.91\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-31.51)^2}{2\sigma_0^2}}$$

Для проверки гипотезы нормальности распределения воспользуемся критерием согласия Колмогорова:

$$\lambda = \frac{|N_m - N'_m| \max}{n} \sqrt{n} = 1.3$$

$$P(\lambda) = 0.0681$$

$$P(\lambda) > 0.05$$

Таким образом, описание разновысотности расположения зерен на поверхности шлифовального круга правомочно описывать нормальным законом распределения.

Список литературы: 1. Попов С.А., Малевский Н.П., Терещенко Л.М. Алмазно-абразивная обработка металлов и твёрдых сплавов. – М.: Машиностроение, 1977. – 263 с. 2. Работоспособность алмазных кругов / М.Ф.Семко, М.Д.Узунян, Ю.А.Сизый, М.С.Пивоваров. – К.: Техніка, 1983. – 95 с. 3. Байкалов А.К. Введение в теорию шлифования материалов. – К.: Наукова думка, 1978. – 207 с. 4. Гавриш А.П., Мельничук П.П. Фінішна алмазно-абразивна обробка магнітних матеріалів: Монографія. – Житомир: ЖДТУ, 2004. – 551 с. 5. Абразивная и алмазная обработка материалов. Справочник / Под. ред. А.Н.Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 391 с. 6. Матюха П.Г. Научные основы стабилизации выходных показателей алмазного шлифования с помощью управляющих воздействий на рабочую поверхность круга: Автореф. дис.... докт. техн. наук: 05.03.01/ ХГПУ. – Харьков, 1996. – 48 с. 7. Гусев В. В. Наукові основи технологичного забезпечення експлуатаційних характеристик виробів з технічної кераміки при алмазному шліфуванні: Автореф. дис.... докт. техн. наук: 05.02.08 / ДонНТУ – Донецьк, 2006 – 36 с.

ОПТИМАЛЬНОЕ СОДЕРЖАНИЕ МЕДИ И ГРАФИТА В ТОКОСЪЕМНОЙ НАКЛАДКЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Полищук В. С., Доценко К. И. (НТЦ «Реактивэлектрон» НАН Украины, Донецк, Украина)

Одной из актуальных проблем электрифицированного железнодорожного транспорта является повышение надежности и увеличение ресурса работы токосъемного узла, обеспечивающего передачу электроэнергии от контактного провода к двигателю электропоезда или локомотива. В мировой практике тяжело нагруженных железнодорожных составов для сильноточных скользящих контактов применяются металлические токосъемные материалы или композиты на их основе [1,2,3]. Главный их недостаток – более значительный износ контактного провода по сравнению с углеграфитовыми. Для снижения износа контактного провода используют композиты, состоящие из металлической и графитовой компонент.

Для испытаний меднографитовых композиционных материалов нами была разработана и изготовлена специальная машина трения, позволяющая исследовать эксплуатационные характеристики разрабатываемых материалов в условиях максимально приближенных к реальным условиям эксплуатации на железной дороге (рис. 1). Электродвигатель постоянного тока (1) с регулируемой скоростью вращает стальной диск (2). На стальном диске закреплен контактный провод (3), по которому скользит токосъемная накладка (4). Скорость вращения диска с контактным проводом контролируется тахометром (5). Сила тока в цепи изменяется с помощью трансформатора от нуля до 150 А. Ширина контактного провода – 5 мм. Для охлаждения накладки предусмотрена система водяного охлаждения (6). При помощи эксцентрика (7) осуществляется поперечное движение накладки относительно контактного

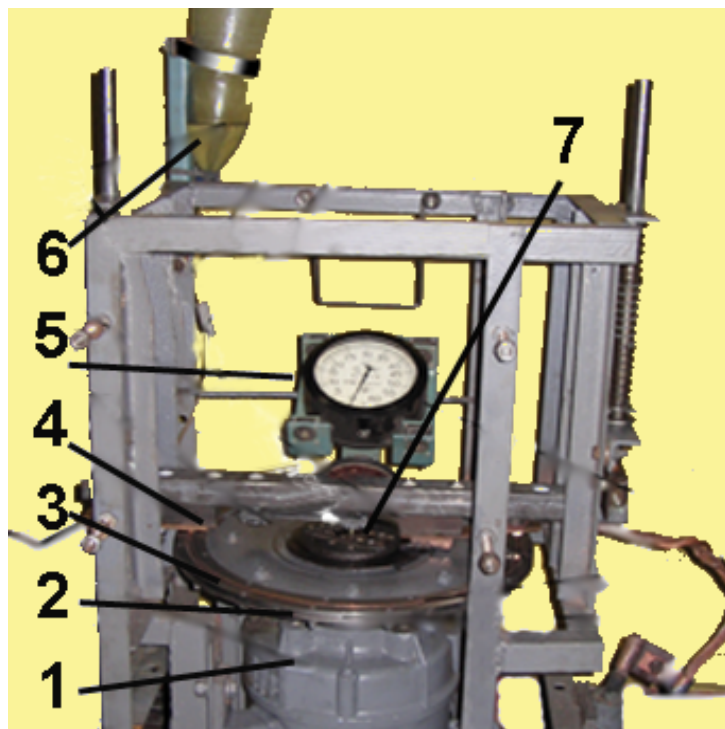


Рисунок 1 – Установка для исследования взаимного износа токосъемных материалов.

провода, которое составляет 12 мм на 1 м продольного перемещения, что в реальных условиях железной дороги соответствует 600 мм поперечного перемещения на 50 м продольного.

При этом частота знакопеременной нагрузки на контактный слой токосъемной накладки, например, при скорости 54 км/ч увеличивается по сравнению с условиями на железной дороге с 0,3 Герц до 15 Герц. По утверждению авторов [4] повышение частоты знакопеременной нагрузки в среднечастотном интервале от 0,1 до 10 Гц существенно не изменит влияние усталостных

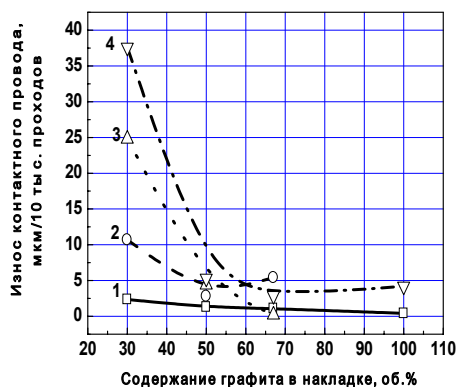


Рисунок 2 - Износ КП от содержания графита в ТН. Скорость движения - 54 км/ч. Количество проходов - $1 \cdot 10^4$. Плотности тока: 1-0А/см²; 2-35А/см²; 3-70А/см²; 4-100А/см².

зависимости износа контактного провода и токосъемной накладки от содержания графита в токосъемном материале при плотностях тока, пропускаемого через подвижный контакт, до 100 А/см². Кривые на рисунках 2 и 3 коррелируют с данными [5], где исследована электроэрозия в композиционном токосъемном материале электрического контакта на основе меди с добавками ниобия, вольфрама, молибдена и карбида вольфрама. Минимальный износ материала контакта под воздействием электроэрозии наблюдался в [5] при 80 об. % содержании тугоплавких составляющих.



Рисунок 3 - Износ ТН от содержания в ней графита. Скорость движения - 54 км/ч. Плотности тока: 1-0А/см²; 2-35А/см²; 3-70А/см²; 4-100А/см².

явлений для пластичных металлов. Линейная скорость перемещения токосъемной накладки относительно контактного провода рассчитывалась исходя из скорости вращения диска. Время испытаний ТМ на износ замеряли с погрешностью 0,2 с. Электрический ток, проходящий через подвижный контакт, измерялся с погрешностью 5А. Относительная погрешность прибора для измерения напряжения составляла не более 1.5%. По значениям тока и напряжения определяли переходное сопротивление (ПС) и выделяющуюся в зоне контакта мощность. Износ токосъемной накладки (ТН) определяли как среднее из 3-х кратного взвешивания образца с точностью $\pm 0,0001$ г. Износ КП измеряли в 5-и контрольных точках с точностью ± 1 мкм. В каждой точке измерение проводили шесть раз.

На рисунках 2 и 3 представлены зависимости износа контактного провода и токосъемной накладки от содержания графита в токосъемном материале при плотностях тока, пропускаемого через подвижный контакт, до 100 А/см². В нашем случае минимум износа токосъемных материалов имеет место при 60-70 об. % графита (рис.2,3).

Для плотности пропускаемого через подвижный контакт электрического тока 100А/см² существует минимум износа контактного провода и токосъемной композиционной слоистой накладки при содержании 60-70 об. % графита в ТН. Существование экстремальной области связано с двумя противоположными факторами, действующими в данной трибосистеме. С одной стороны графитовая антифрикционная добавка уменьшает износ материалов трибосистемы. С другой стороны рост содержания графита увеличивает в материале количество менее электропроводной, по сравнению с медью, составляющей, и приводит к повышению температуры в зоне трения за счет выделения тепла при прохождении через подвижный контакт электрического тока. Это ведет к увеличению износа материалов

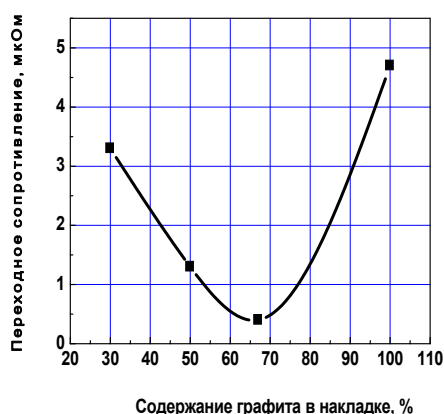


Рисунок 4 - Зависимость переходного сопротивления от содержания графита в ТН. Материал: слоистый композит Си + графит, плотность тока – 100 А/см^2 , скорость – 54 км/ч .

целесообразно использовать материалы на основе графита, имеющие, хотя более высокое, чем медь удельное электросопротивление, но обладающие лучшими антифрикционными свойствами.

2. При плотностях тока 100 А/см^2 и выше, когда важнейшим фактором, влияющим на износ токоъемных материалов является электропроводность, оптимальным для ТН является материал на основе меди с 30-40% содержанием графита. Этот материал при минимальном значении удельного электросопротивления обеспечивает минимальный нагрев в зоне контакта трибосистемы и хорошие антифрикционные свойства.

Список литературы: 1. Полищук В. С., Буковский В. И., Доценко К. И. Композиционные токоъемные материалы для подвижных составов железнодорожного транспорта. Донецк.: Вебер. 2008-136 с. 2. Берент В. Я. Материалы и свойства электрических контактов в устройствах железнодорожного транспорта. М.: Интест. 2005-404 с. 3. Гершман И. С., Бучнев Л. М. Токоъемные углеродные материалы нового поколения. //Вестник ВНИИЖТ, 2003, N6 с. 21-26. 4. Романив О. Н. , Ярема С. А., Никифорчин Г. Н. и др. Усталость и циклическая трещиностойкость конструкционных материалов. // Механика разрушения и прочность материалов. Справочное пособие. Киев.: Наукова думка. 1990 г. Том 4. С. 333. 5. Буткевич Г. В., Белкин Г. С. Ведешенков Н. А. и др. Электрическая эрозия сильноточных контактов и электродов. М.: Энергия. 1978-256 с.

трибосистемы.

Важнейшей характеристикой, влияющей на износ подвижного токоъемного контакта, является ПС (рис. 4). Кривые 4 на рисунках 2, 3 имеют аналогичный ход с кривой на рисунке 3. Из этого можно сделать вывод, что переходное сопротивление, а, следовательно, и температура в зоне трения имеют определяющее влияние на износ токоъемных материалов данной трибосистемы. Чем меньше переходное сопротивление, тем меньше выделяется тепла в зоне трения, а, следовательно, меньше изнашиваются материалы трибосистемы.

Выводы

1. При незначительных плотностях тока доминирующим фактором для минимизации износа токоъемных материалов является количество антифрикционной смазки в токоъемной накладке. В этих условиях для ТН

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ПА 11, МОДИФИЦИРОВАННОГО ДИСПЕРСНЫМИ ЧАСТИЦАМИ

Потребва В.В. (каф. ТМ и М, ГГАУ, г. Гродно, Беларусь)

Введение. Учитывая широкий спектр материалов, потребляемых современным машиностроением, а также перспективы совершенствования машин, механизмов и технологического оборудования, основанные на энерго- и ресурсосберегающих подходах, всё большую актуальность приобретает проблема создания материалов с комплексом служебных характеристик, адекватно отвечающих к изменяющимся условиям эксплуатации. Одним из наиболее эффективных направлений современного материаловедения является создание композиционных материалов нового поколения на различных матрицах путём управления структурой на нано- и микроуровнях с помощью различных технологических воздействий. Повысить эксплуатационные характеристики оборудования, машин и механизмов можно с помощью нанесения полимерных покрытий, предотвращающих износ контактных поверхностей в условиях комплексного воздействия неблагоприятных эксплуатационных факторов.

Для повышения служебных характеристик полиамиды модифицируют различными видами материалов, отличающимися химическим составом, агрегатным состоянием, дисперсностью и т.п.: силикатами, оксидами, углеродными волокнами. Согласно литературных источников модифицирование полиамидов (ПА 6, ПА 11) низкоразмерными углеродсодержащими частицами УДАГ приводит к повышению показателей физико-механических характеристик при содержании наполнителя в пределах 0,005-0,5 масс.%; увеличиваются показатели прочности при одноосном растяжении и твердость по Бринеллю [1].

В данной работе разработаны составы композиционных материалов, предназначенных для получения антифрикционных покрытий на основе алифатического полиамида 11, модифицированного ультрадисперсным политетрафторэтиленом (УПТФЭ). Эффект противоизносного и антифрикционного действия низкоразмерных модификаторов в полимерных матрицах обусловлен структурирующим действием на периферийные области нескомпенсированного заряда, сформированного вследствие технологических особенностей.

Целью исследования явилось изучение вязкостных характеристик расплавов термопластических полимеров, модифицированных УПТФЭ при различных условиях переработки, определение оптимальной концентрации модификатора в объёме полимерной матрицы.

Методика проведения исследований. В качестве объекта исследований выбран ПА 11 «Rilsan» производства ATOFINA (Франция). Физико-механические, теплофизические, триботехнические и др. характеристики приведены в многочисленной справочной литературе [2, 3]. Для модифицирования полимерной матрицы использовали порошок ультрадисперсного политетрафторэтилена (УПТФЭ). Процентное содержание модификатора в полимерной матрице составляло: 0,1; 0,5; 1 и 2 масс.%. Модификатор равномерно распределяли по объёму путём интенсивного перемешивания порошкообразных компонентов на специализированном оборудовании.

Показатели вязкости полиамида 11 (Rilsan) и материалов на его основе оценивали на экструзионном пластометре марки ИИРТ 119 при температурах 200, 210, 220, 230°C.

Расчет показателя текучести расплава (ПТР) проводили по формуле:

$$ПТР = \frac{600 \cdot m_x}{t},$$

где m_x – масса прутка, г; t – интервал времени между двумя последовательными срезаниями прутков, с.

Результаты и обсуждение. Исследования показали, что при добавлении к ПА11 ультрадисперсного УПТФЭ, полученного методом термогазодинамического синтеза, приводит к повышению вязкости композита. Увеличение концентрации модификатора от 0,5 до 2 % в объёме полимерной матрицы приводит к монотонному увеличению показателя ПТР. Увеличение вязкости полимера при содержании модификатора от 0 до 0,5% можно объяснить тем, что образуются дополнительные лабильные физические связи между нанофазными частицами и молекулами полиамида 11, которые обусловлены наличием некомпенсированного собственного заряда у частиц УПТФЭ (рис.).

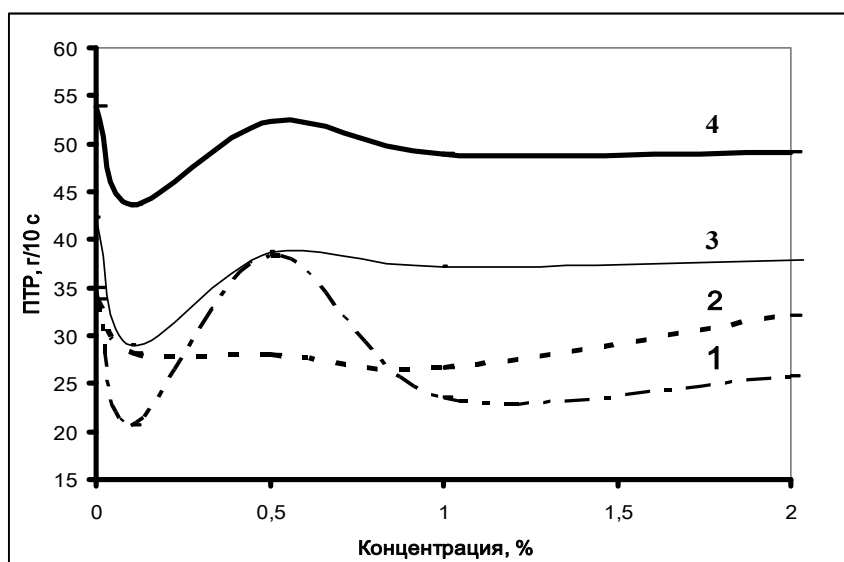


Рис.1. Зависимость ПТР композиционного материала на базе ПА 11 (Rilsan) от концентрации в нём нанофазного модификатора (УПТФЭ) при температурах переработки 1 - 200°C, 2 - 210°C, 3 - 220°C, 4 - 230°C.

Специфическое строение полимер-олигомерного модификатора (УПТФЭ) и его зарядовое состояние обуславливают комплексный механизм структурирующего действия в полимерных матрицах. Благодаря подобному строению полимер-олигомерных частиц модификатора и полимерной матрицы наблюдается диффузия полимерных полярных макромолекул в наружный слой неполярного олигомера частицы ТГД синтеза. Это обуславливает набухание полимерного ядра и олигомерных оболочек с образованием зон повышенного упорядочения. Под действием некомпенсированного заряда ядра полимер-олигомерной частицы происходит преимущественная ориентация полярных олигомерных молекул матрицы. Таким образом формируется специфическая структура покрытия с различным уровнем упорядочения и армирования, обладающая повышенной адгезионной прочностью. В

отличие от традиционных наполнителей и модификаторов, в т.ч. низкоразмерных, в подобной структуре в наиболее полной мере реализуются все достоинства каждого из компонентов и обеспечивается совокупный синергический эффект повышения комплекса адгезионных и триботехнических характеристик. При фрикционном взаимодействии в зоне контакта полимер-олигомерный модификатор выполняет функцию антифрикционного компонента, одновременно повышая нагрузочную способность композиционного покрытия. Способность неполярной олигомерной фракции к передеформированию обуславливает низкий коэффициент трения, свойственный фторсодержащим воскам, и образование устойчивого разделительного слоя с большим временем жизни. Относительно небольшие размеры полимерного ядра модификатора, не превышающие 100 нм, позволяют такие композиционные покрытия использовать а прецизионных трибосистемах с минимальным зазором в сопряжении [4]. На основании полученных результатов исследования можно констатировать, что введение зарядовых нанокластеров приводит к структурным изменениям в кристаллической и некристаллической фазах полимера.

Характерным является тот факт, что эффект увеличения степени кристалличности проявляется при малых степенях наполнения полимера и практически не зависит от содержания модификатора в пределах концентраций 0,1-0,5 мас. %.

Заключение. Исходя из полученных результатов можно предположить, что существует пороговая концентрация наполнителя, обеспечивающая переход всех макромолекул в ориентированное состояние, превышение которого не вызывает дополнительного эффекта молекулярного упорядочения в некристаллической фазе полимера, а приводит к повышению дефектности структуры вследствие агрегирования кластерных частиц модификатора.

Изменения в зарядовой активности наполненной матрицы, модифицированной частицами УПТФЭ, приводят к изменению физических характеристик, определяющих технологичность переработки полимерных матриц, например – вязкости [5].

Таким образом, УПТФЭ является эффективным модификатором полимеров комплексного механизма действия. Данный модификатор изменяет не только характеристики прочности, износостойкости, но и один из основных показателей, обуславливающий технологичность переработки полимера в изделие – вязкость расплава. Определена оптимальная область концентраций УПТФЭ в полимерной матрице, которая составляет 0,1-0,5 масс. %.

Список литературы: 1. Нанокomпозиционные машиностроительные материалы: опыт разработки и применения: монография / С.В. Авдейчик [и др.]; под ред. В.А. Струка. – Гродно: ГрГУ, 2006. – 403 с. – С.11 – 13, 94 – 97. 2. Нелсон, У.Е. Технология пластмасс на основе полиамидов. – Пер. с англ./Под ред. А.Я. Малкина. – М.: Химия, 1979. – 256 с., ил. Лондон, Бостон, 1976. – С.55 3. Тагер, А.А. Физикохимия полимеров.// М.1968. – С.182-205. 4. «Композиционные материалы в промышленности» (Материалы Двадцать Девятой международной конференции, 1 – 5 июня 2009 г. – г. Ялта), с. 466-472. 5. Физика конденсированного состояния : тез. докл. XVI респ. науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Гродно, 23 – 25 апр. 2008 г. В 2ч. Ч.2/редкол.: Е.А. Ровба (отв. ред.) [и др.]. – Гродно: ГрГУ, 2008. – 78 -79.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ КОНЦЕВОГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ КОНТУРОВ СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

Рязанцева Н.Н., Медведев В.В. (каф. ТМ, ДонНТУ, г. Донецк, Укарина)

Введение. При программировании фрезерных операций, так же как и при токарной обработке, элементы контура обрабатываемых деталей могут быть разделены на основные и дополнительные. К числу дополнительных в данном случае относят сопрягающие поверхности с постоянным и переменным радиусами сопряжения. При плоской обработке внутренние сопряжения постоянного радиуса формируются, за счет соответствующей конфигурации инструмента. Для обеспечения технологичности детали такие сопряжения должны выполняться с одинаковым, типовым для данного контура или детали радиусом r_{min} с выдерживанием определенного соотношения между этим радиусом и типовым входящим радиусом R_{min} на контуре, регламентирующем максимально допустимый диаметр фрезы для чистовых переходов.

При программировании фрезерной обработки областей используют типовые схемы технологических переходов, определяющие правила построения траектории инструмента. За типовой базовый элемент при разработке операций фрезерования принимают совокупность обрабатываемых зон - обрабатываемую область. Каждому технологическому переходу соответствует обработка одной или нескольких областей.

Постановка задачи. Существуют два основных метода формирования траектории фрезы при фрезерной обработке: зигзагообразный и спиралевидный.

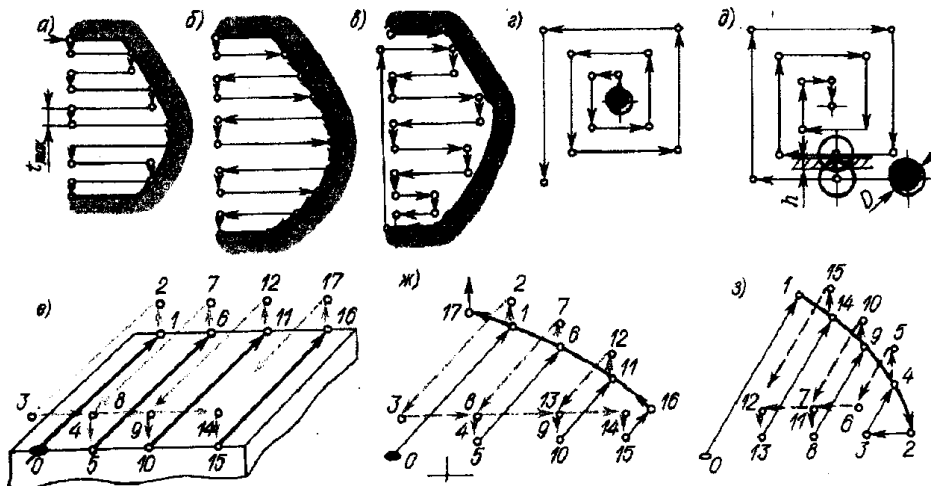


Рис. 1. Типовые схемы фрезерных переходов: а – в - зигзагообразные; г, д - спиралевидные; е–з - Ш-образного типа

Зигзагообразный метод характеризуется тем, что инструмент в процессе обработки совершает движения в противоположных направлениях вдоль параллельных строчек с переходом от одной строки к другой вдоль границы области. В настоящее время этот метод распространен, хотя и обладает определенными недостатками. Основной недостаток - переменный характер фрезерования: если вдоль одной строки инструмент работает в направлении подачи, то вдоль следующей он будет работать в направлении, противоположном подаче. Аналогичная картина наблюдается и при переходе от одной строки к другой вдоль границы. Все это приводит к изменениям сил резания и отрицательно сказывается на точности и качестве поверхности. Другой

недостаток зигзагообразной схемы - повышенное число изломов на траектории инструмента. Это также отрицательно сказывается на динамике резания и приводит во многих случаях к увеличению времени обработки в связи с необходимостью выполнения операций по разгону - торможению, которые обуславливаются динамикой приводов подачи станка с программным управлением. Зигзагообразная схема может иметь несколько разновидностей, связанных с порядком обработки границ: без обхода границ (рис. 1, а); с проходом вдоль границ в конце обработки области (рис. 1, б); с предварительным проходом вдоль границ (рис. 1, в)

Предварительная прорезка границ обеспечивает симметрию резания для инструмента в процессе выполнения этого прохода, а также облегчает условия работы инструмента при последующей обработке в начале и в конце каждой строки. Однако при этом ухудшаются прочностные условия, так как инструмент работает на полную глубину на участке траектории прорезки.

Спиралевидный метод отличается от зигзагообразного тем, что обработка ведется круговыми движениями инструмента, совершаемыми вдоль внешней границы области на разном расстоянии от нее. Спиралевидная схема имеет две основные разновидности, одна из которых характеризуется движением инструмента от центра области к периферии (рис. 1, г), а другая, наоборот, от границы области к ее центру (рис. 1). При использовании этих разновидностей следует иметь в виду, что при обработке колодцев с тонким дном на деталях из легких сплавов возможен подрыв дна в конце обработки по схеме от периферии к центру [1].

Однако, все методики определения траектории обработки поверхности на предварительных операциях не учитывают фактор износа металлообрабатывающего оборудования из-за значительных перегрузок в опорных точках траектории. Традиционно траектории строятся с поворотами под 90° , что является наиболее нерациональным с точки зрения износа станка.

Основная часть. Для уменьшения инерционных нагрузок на металлообрабатывающем оборудовании при прохождении опорных точек было предложено закруглять поворот на величину 2–6 единиц дискретности. То есть разделять опорную точку траектории инструмента на несколько промежуточных, расположенных по радиусу.

Указанное закругление может быть выполнено при условии предварительной обработки детали или на открытых поверхностях. То есть там, где не предъявляются особые требования к радиусу внутреннего угла детали.

Ускорение исполнительного органа в опорной точке при фрезеровании равно

$$a = l_1 (1 - \cos(90/n)) / t^2, \quad (1)$$

где: l_1 – дискретность станка с ЧПУ;

n – количество промежуточных опорных точек траектории;

t – время отработки станком одного элементарного перемещения.

Из формулы (1) вытекает то, что при $n=0$ ускорение не имеет конкретного значения, т.к. стремится к бесконечности. Но уже при значениях в 2–3 опорных точки ускорение приходит к приемлемым границам.

Для определения влияния разработанного метода поворота траектории на качество поверхностного слоя был построен след инструмента на поверхности детали, показанный на рис. 2. При построении было принято допущение абсолютно ровного конца фрезы, что позволило построить вид рисок в двумерном пространстве. Для

построения вида рисунок на поверхности детали после обработки бор-фрезами потребуются применение вычерчивания в 3-х мерном пространстве.

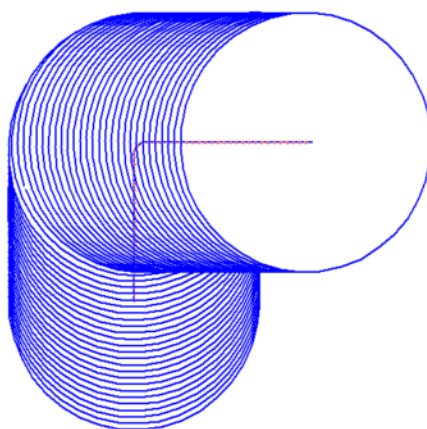


Рис. 2. След концевой фрезы при прохождении опорной точки траектории

Как видно из рис.2, участок концентрации рисок (в правом нижнем углу границы обработки) при обработке с помощью закруглённых траекторий испытывает меньшее количество проходов зубьями фрезы, чем при традиционном изменении траектории инструмента. Это позволяет сделать предварительный теоретический вывод о положительном влиянии разработанной методики прохождения опорных точек на качество поверхностного слоя детали, а так же на незначительный прирост стойкости инструмента.

Для реализации данного способа на современном оборудовании потребуются простая перенастройка контроллера управления сервоприводами. Она заключается в возможности кратковременно ведения исполнительного органа станка не по сигналам датчиков перемещения, а по поддержке кругового движения в инерции. Такое движение аналогично движению гоночного автомобиля на повороте, где гонщик не поворачивает ровно на 90° в самой середине перекрёстка, а ведёт машину по плавной траектории.

Вывод. Таким образом, предложенный способ разбиения опорных точек на несколько промежуточных позволяет значительно уменьшить динамические нагрузки на станок. При этом, положительное влияние оказывается и на состояние поверхностного слоя детали, а так же, в небольших пределах, на стойкость инструмента. Предложенный способ возможно реализовать на вновь выпускаемом оборудовании, или на имеющемся с незначительным переоборудованием контроллеров управления сервоприводами.

Список литературы. 1. Серебrenицкий П.П. Программирование для автоматизированного оборудования / П.П. Серебrenицкий, А.Г. Схиртладзе: Под ред. Ю.М. Соломенцева. – М.: Высш. шк. 2003. – 592 с: ил. 2. Орлов В.Н. Использование компьютерной техники для контроля параметров качества поверхностного слоя деталей при механической обработке / В.Н. Орлов, В.Ф. Губанов // Технология машиностроения. – 2003. – №6. – С. 55-58. 3. Гордеев А.С. Имитационное управление качеством механической обработки // Механика и машиностроение. – 2003. – №1. – С. 204-207.

МАЛОМЕРНЫЕ МОДЕЛИ ТОКСИЧНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ, УВЯЗАННЫЕ С ЭМПИРИЧЕСКИМИ ДАННЫМИ¹

Холодов А.О., Гирш Д.С. (каф. «АПП», ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия)

Современное развитие дало возможность без усилий передвигаться со скоростью, не доступной для природных объектов. Развитие автотранспорта, железных дорог, авиастроения, морского транспорта дало возможность быстро перемещаться в любую точку Земного шара.

Автотранспорт стал неотъемлемой частью нашей жизни. Каждый день миллионы людей, садясь в автобусы, в автомобили, едут на работу. Сбои в работе автотранспорта становятся катастрофой.

Но за каждое благо следует платить. Для работы двигателя требуется колоссальная энергия. Ее получение в основном основано на окислении углеводов. Если бы топливо состояло только из углеводов, а воздух из кислорода, то при полном сгорании в атмосферу попадали бы только углекислый газ и пары воды. Однако в топливе всегда есть примеси, а в воздухе – азот, при этом сгорание не всегда оказывается полным. В результате в атмосферу попадают разнообразные загрязняющие вещества, основную массу которых составляют окислы серы и азота. Сами сильные яды они также образуют кислоты – источник кислотных дождей.

При этом мировой автомобильный парк с каждым годом только растет. С 1970 по 1990 гг. он увеличился с 220 до 530 млн. ед. В настоящее время он превышает 600 млн. ед. В то же время состав отработавших газов (ОГ) практически не изменился, и хорошо известные токсичные компоненты по прежнему наносят непоправимый вред биогеоценозу Земли.

Оценив статистику по Ростовской области за последние годы (табл. 1) можно сделать вывод, что при уменьшении производства, следовательно, выбросов, автомобильный парк только растет, порождая ряд экологических проблем.

Таблица 1. Статистика изменения объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на территории Ростовской области (тыс. тонн)

Годы	1999	2000	2001	2002	2003
Выбросы стационарных источников	223,6	196,3	190,5	164,4	148,7
Выбросы автотранспорта	570,1	573,3	578,2	596,9	603,4
Итого	793,7	769,6	768,7	761,3	752,1
Доля автотранспорта	71,8%	74,5%	75,2%	78,4%	80,2%

Доля выбросов транспорта неуклонно растет по всем характеристикам. Из-за этого выбросы автомобильного парка представляют главную угрозу природе области.

¹Работа выполнена при поддержке Программы молодежного научно-инновационного конкурса «Умник» 2008 г. и Совета по грантам Президента Российской Федерации для поддержки молодых российских ученых и ведущих научных школ Российской Федерации (код проекта НШ-3609.2006.8).

Наиболее опасными являются окислы азота. При небольших количествах (по сравнению с CO_2) – около 0,05-0,3% – они являются главной угрозой для природы и человека. Окислы азота и остатки органического топлива – летучие органические соединения провоцируют образование тропосферного озона – сильного окислителя, поражающего растения и опасного для здоровья человека. В приземных слоях воздуха сернистый ангидрид, озон и азотная кислота представляют собой непосредственную угрозу для живых организмов. Эти вещества вызывают прямой ожог растительности, а в больших концентрациях опасны для человека и животных. В частности, гибель деревьев вдоль автомобильных дорог с интенсивным движением – прямое следствие озонового ожога. В городах в жаркую погоду образуется озоновый смог, вызывающий удушье, способное привести к смерти людей, особенно страдающих сердечно-сосудистыми и легочными заболеваниями.

Рассчитать теоретически выброс даже основного окисла азота NO при промышленном сжигании энергоносителей проблематично, поскольку соответствующая кинетика “оторвана” от кинетики “теплотворного горения” достаточно высоким энергетическим барьером. В результате практически весь объем NO образуется в ничтожно малых объемах *топливно-воздушной смеси* (ТВС), отвечающих “фронту” турбулентного пламени. Эти микрообъемы характеризуются наивысшей локальной температурой и близким к стехиометрическому составу реагентов на одной из границ. Отсюда – отмеченная еще Я.Б. Зельдовичем неплототворность попыток описать кинетику образования NO в рамках общей с окислением углеводородов (или прочих органических топлив) схемы реакций, сопровождающихся тепловыделением. Особенно сложной ситуация оказывается в поршневых ДВС, в которых даже усредненные по объему заряда термохимические параметры сильно и быстро меняются в течение каждого единичного цикла. По-видимому, единственно возможным способом рассчитывать [NO] в ОГ таких двигателей служат полуэмпирические модели, гибко сочетающие общие физико-химические закономерности образования окислов азота при горении моторных топлив в воздухе и фактическую информацию о химическом составе выхлопа для конкретных марок ДВС и режимов их работы.

Множественные экспериментальные и теоретические данные свидетельствуют, что определяющий брутто-токсичность двигателя по NO_x оксид азота NO образуется исключительно в пламенной зоне горящего рабочего тела. В каждый момент активного горения объем этой зоны сравнительно невелик (доли процента от полного объема, занимаемого рабочим телом), зато температура в ней на $T_{\text{плам}} \approx 0.7 T_{\text{ад}} \approx 2200 \text{ К}$ превышает среднюю по КС. Вследствие чрезвычайно резкой температурной зависимости реакция образования NO протекает с сильным преимуществом в пламенной зоне: несмотря на ничтожный относительный объем последней, именно в ней происходит наработка всего NO. Кинетика наработки NO в пламенной зоне ДВС с погрешностью $\pm 30 \%$ описывается предложенным Я.Б. Зельдовичем уравнением

$$\frac{d[\text{NO}]}{dt} = E \cdot P(\varphi)[\text{O}](\varphi) e^{\frac{-38000}{T(\varphi)+2200}} \cdot \Omega \frac{dQ}{d\varphi} \quad (1)$$

В уравнении (1) $T(\varphi)$ - средняя температура рабочего тела, Q - относительное тепловыделение, E - константа, размерность и значение которой зависят от выбора единиц измерения концентраций реагентов, $\Omega = d\varphi/dt$ – частота вращения коленвала. Это уравнение можно использовать для оценки токсичности поршневых ДВС по NO.

Естественное уточнение (1) состоит в добавлении к правой части слагаемого, ответственного за гибель NO в ходе догорания-расширения. Физически осмысленной формой релаксационного слагаемого служит

$$W_{\text{рел}} \sim \frac{P(\varphi)}{\Omega} e^{\frac{-32000}{T(\varphi)}} ([\text{NO}]_{\text{равн. при } T=T(\varphi)} - [\text{NO}](\varphi))^n, \quad (2)$$

где n – порядок реакции гибели NO. Практически имеет смысл ограничиться двумя реалистичными ситуациями – гибелью окиси азота в моно- и бимолекулярных реакциях. Одновременно следует учесть, что равновесные концентрации NO в условиях ДВС оказываются на два порядка ниже фактических, что позволяет считать $[\text{NO}]_{\text{равн. при } T=T(\varphi)} \approx 0$. Таким образом, получаем два сценария внутрицилиндровой брутто-кинетики NO: согласно первому

$$\frac{d[\text{NO}]}{dt} = A \cdot P(\varphi)[\text{O}](\varphi) e^{\frac{-38000}{T(\varphi)+2200}} \cdot \Omega \frac{dQ}{d\varphi} - B \cdot \frac{P(\varphi)}{\Omega} e^{\frac{-32000}{T(\varphi)}} [\text{NO}] \quad (3)$$

второму –

$$\frac{d[\text{NO}]}{dt} = C \cdot P(\varphi)[\text{O}](\varphi) e^{\frac{-38000}{T(\varphi)+2200}} \cdot \Omega \frac{dQ}{d\varphi} - D \cdot \frac{P(\varphi)}{\Omega} e^{\frac{-32000}{T(\varphi)}} [\text{NO}]^2 \quad (4)$$

Базой надстроечных моделей (1),(3)-(4) служат получаемые путем интегрирования уравнений эволюционные кривые $P(\varphi)$, $T(\varphi)$, $Q(\varphi)$ и $[\text{O}](\varphi)$. Небольшое число и отсутствие среди них кинетических кривых, отвечающих горению углеводородов, служат обоснованием применяемой нами техники наращивания модели. Фигурирующие в моделях (1),(3)-(4) константы A , B , C , D и E являются параметрами, значения которых следует выбрать из условия наилучшей аппроксимации имеющихся в распоряжении авторов экспериментальных данных по NO_x -токсичности ДВС. Чем больше первичных факторов или показателей используется при определении констант A , B , C , D и E , а также чем шире диапазоны их вариации (прямое произведение всех варьируемых факторов в конечных диапазонах изменения назовем *параметрическим полигоном*), тем более осредненным и, вероятно, неточным окажется получаемый с ее помощью прогноз для конкретной машины. Однако нас это не должно смущать, т.к. нет никаких препятствий выполнить впоследствии подгонку названных коэффициентов для отдельных классов или групп сходных между собой двигателей.

Здесь важно отметить, что, если при идентификации моделей (1),(3) и (4) на одном и том же массиве экспериментальных данных получаются близкие значения коэффициентов A , C и E , эффект гибели NO в КС незначителен, и справедлива модель полной закалки (1). С математической точки зрения это означает, что кинетическая кривая $[\text{NO}](\varphi)$ – монотонно возрастает (более строго, не убывает). Физически это обстоятельство следует трактовать, что вся совокупность факторов, влияющих на токсичность ДВС по NO, сводится к единственной универсальной комбинации, которую обозначим символом ξ .

КОМПЛЕКС МОДЕЛЕЙ, МЕТОДОВ И ПРОГРАММ ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ ИМИТАЦИИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Цымбалов Д.С., Гирш Д.С. (каф. «МАПП», ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия)

Сложность внутрицилиндровых процессов в поршневом двигателе внутреннего сгорания ДВС [1,2], схематизированных на рис. 1, ставит вычислительный эксперимент в ранг наиболее эффективного средства разработки и оптимизации. Возможности достаточно подробно и в то же время гибко описывать неоднородный многокомпонентный химически активный газ с источниками вещества обусловлены появлением новейших информационных технологий, связанных с автоматизированной генерацией и анализом моделей [3].

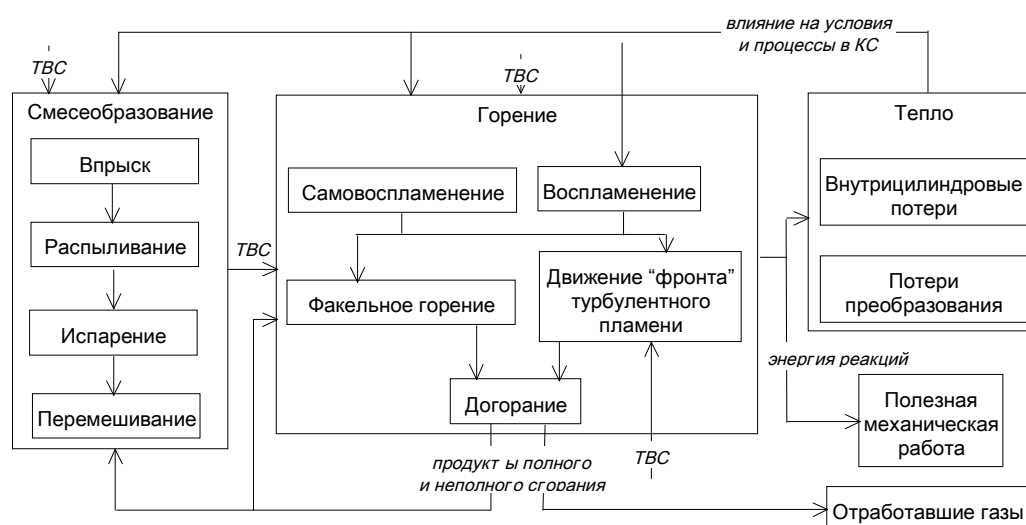


Рис. 1. Схема внутрицилиндровых процессов в поршневом ДВС

Авторами разработана система оригинальных моделей многокомпонентного химически активного газа, а также собраны и систематизированы научные данные, физико-химического, а также конструктивно-технологического свойства, необходимые для инициализации предлагаемого комплекса моделей. Фундаментальность полученных здесь результатов состоит в их переносимости на ряд актуальных технических и экологических приложений. Сочетание научного поиска с систематизацией собранных данных, машинного счета и асимптотического анализа моделей позволяет обобщать и компактно представлять результаты вычислительного эксперимента.

Система эволюционных моделей рабочего процесса ДВС воплощена в программный комплекс, реализующий интегрирование систему эволюционных уравнений высокой размерности и ассоциированную базу гетерогенных физико-химических и инженерно-технологических данных. Интеграция информационного сегмента разработки осуществлена при помощи новейших средств и технологий синтеза и анализа виртуальных объектов, что представляет собой важный элемент научной новизны и инновационной ценности. Реализация проблемно-ориентированного информационно-аналитического комплекса расширяет возможности оптимизации рабочего процесса ДВС в части моторесурса, функциональности,

экономичности, токсичности. Этапы развития разработки, реализованные и намеченные возможности показаны на рис. 2.

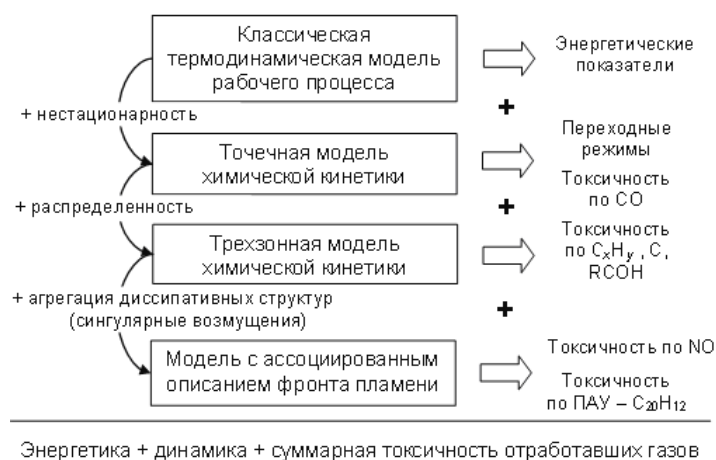


Рис. 2. Эволюция структуры и имитационных возможностей моделей горения в ДВС

Для оптимизации впрыска и газообмена в поршневом ДВС особенно важны интегральные и мгновенные энерго-силовые показатели рабочего процесса (давление и температура в камере сгорания), а также токсические характеристики заряда и отработавших газов. В табл. 1 приведены результаты энерго-силовых расчетов для трех представительных режимов двигателя ВАЗ 2108: скорость вращения коленвала составляет на выбранном режиме 4000 мин^{-1} , коэффициент избытка воздуха $\alpha = 1$.

Таблица 1. Результаты энерго-силовых расчетов для режимов двигателя ВАЗ 2108

Коэффициент избытка воздуха α , доля объема ε	1 0.8	0.7, 0.2	1.3, 0.2	Среднее знач.
Среднеиндикаторное давление, атм	5.86	5.67	1.59	5.41
Индикаторная мощность, кВт	63	61	17	58.2
Угол поворота коленвала при максимальном давлении в КС, град. ПКВ после ВМТ	15	2	5	12.7
Максимальное давление, атм	68.7	78.4	32.7	66.1
Угол поворота коленвала при максимальной скорости нарастания давления в КС, град. ПКВ после ВМТ	10	-9	-12	6
Максимальная скорость нарастания давления в КС, атм/град. ПКВ	5.75	8.09	8.98	8.71
Угол поворота коленвала при максимальной средней температуре заряда, град. ПКВ после ВМТ	15	2	22	14.4
Максимальная средняя температура рабочего тела, К	2265	2135	1009	2126
Угол поворота коленвала при максимальной скорости нарастания температуры заряда, град. ПКВ после ВМТ	10	-9	-12	6
Максимальная скорость нарастания температуры заряда, К/град. ПКВ	204	225	14	187
Доля теплоты цикла, выделившаяся до ВМТ	0.12	0.59	0.36	0.19
Доля теплоты цикла, выделившаяся до момента, когда давление в КС максимально	0.98	0.97	0.45	0.93
Доля теплоты цикла, выделившаяся до момента, температура заряда максимальна	0.99	0.98	0.85	0.98

Приведенные данные согласуются с известными теоретическими положениями и экспериментальными фактами. В частности, развиваемая мощность монотонно растет с частотой вращения коленвала в интервале $2000-4000 \text{ мин}^{-1}$, в то время как крутящий момент максимален внутри этого интервала. Увеличение скорости вращения коленвала с 2000 до 4000 мин^{-1} сопровождается удвоением доли тепла, выделившегося до ВМТ, что соответствует современным физическим трактовкам [1,2].

Эволюция параметров рабочего тела в цикле на 75% мощности показана на рис. 3. Показаны циклограммы давления и температуры для трех зон заряда – с обогащенной, стехиометрической и обедненной смесью, а также осредненная по объему камеры сгорания кривая (жирная линия). Объемы с ненормативной рабочей смесью оценены по экспериментальным данным [1,2] с использованием полуэмпирических моделей турбулентности.

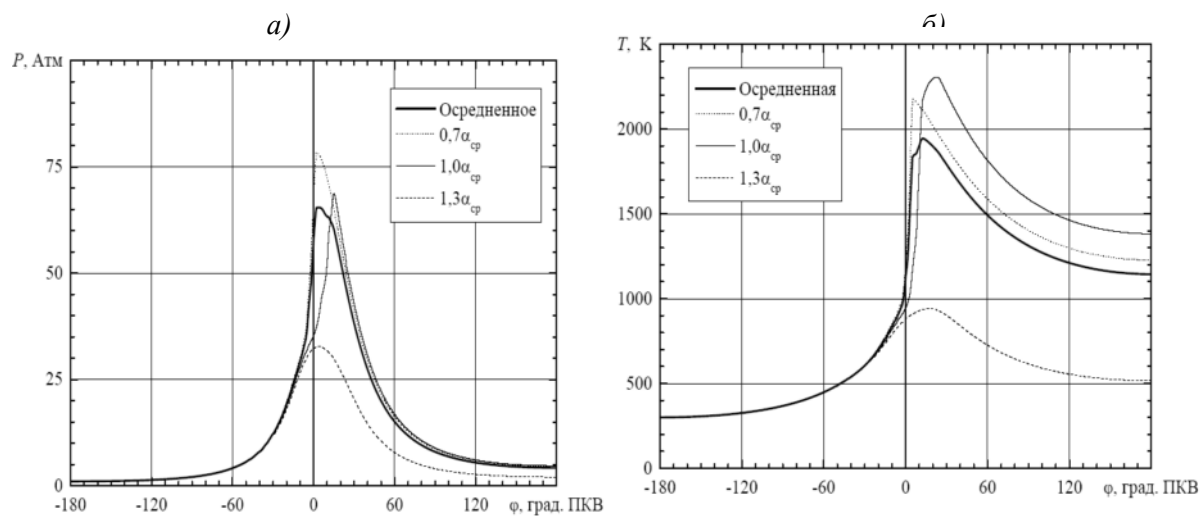


Рис. 3. Давление *a* и температура *б* в камере сгорания двигателя ВАЗ 2108

Приведенные данные являются вполне информативными для разработчиков ДВС [1,3]. Кроме того, по мере совершенствования нашего комплекса приведенные результаты будут уточняться и станут более детальными. Приоритетными направлениями совершенствования моделей и интегрированных баз предметных данных обозначены перспективные системы впрыска, смесеобразования, а также альтернативные моторные топлива.

Список литературы: 1. Кульчицкий А.Р. Токсичность автомобильных и тракторных двигателей. - М.: Академический проект, 2004, 400 с. 2. Марков В.А., Баширов Р.М., Габитов И.И. Токсичность отработавших газов дизелей. 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.–376с. 3. Яценко О.В., Загороднюк В.Т. Компьютерное моделирование задач прикладной физико-химической динамики. Ростов н/Д: СКНЦ ВШ, 2001. 200 с.