

The top half of the cover features a dark blue background with intricate, light blue geometric and technical patterns. On the left, there are concentric circular lines resembling a gear or a stylized eye. To the right, a network of lines and dots suggests a circuit board or a data network. A small, stylized star or arrow points towards the right in the upper right quadrant. The overall aesthetic is futuristic and technological.

ТЕХНИКА, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИНЖЕНЕРИЯ: СОВРЕМЕННЫЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ
ПО МАТЕРИАЛАМ I МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-
ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

WWW.SCIPRO.RU

**НАУЧНАЯ ОБЩЕСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ
ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ НАУКА**

**Техника, информационные технологии и инженерия:
современные научные исследования и разработки**

**Сборник научных трудов
по материалам I Международной научно-практической конференции**

30 мая 2019 г.

**www.scipro.ru
Санкт-Петербург, 2019**

УДК 001
ББК 72

Главный редактор: Н.А. Краснова
Технический редактор: Ю.О. Канаева

Техника, информационные технологии и инженерия: современные научные исследования и разработки: сборник научных трудов по материалам I Международной научно-практической конференции 30 мая 2019 г., Санкт-Петербург: Профессиональная наука, 2019. – 67 с.

ISBN 978-0-359-70970-0

В сборнике научных трудов рассматриваются актуальные вопросы развития инженерного дела и инженерии, лесоводства и сельского хозяйства, транспорта и т.д. по материалам I Международной научно-практической конференции **«Техника, информационные технологии и инженерия: современные научные исследования и разработки»**, состоявшейся 30 мая 2019 г. в г. Санкт-Петербург.

Сборник предназначен для научных и педагогических работников, преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов с целью использования в научной работе и учебной деятельности.

Все включенные в сборник статьи прошли научное рецензирование и опубликованы в том виде, в котором они были представлены авторами. За содержание статей ответственность несут авторы.

Электронная версия сборника находится в свободном доступе на сайте www.scipro.ru.

При верстке электронной книги использованы материалы с ресурсов: PSDgraphics

УДК 001
ББК 72



- © Редактор Н.А. Краснова, 2019
- © Коллектив авторов, 2019
- © Lulu Press, Inc.
- © НОО Профессиональная наука, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА5

Шумихин А.А. СУЩЕСТВУЮЩИЕ БЕСКОНТАКТНЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЯ.....5

СЕКЦИЯ 2. МАШИНОСТРОЕНИЕ И ПРОМЫШЛЕННЫЙ ИНЖИНИРИНГ9

Власов С.Н., Котылевский Е.А. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ9

Власов С.Н., Котылевский Е.А. МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ МАТЕРИАЛОВ ИЗ КОМПОЗИТОВ С АНИЗОТРОПНЫМИ СВОЙСТВАМИ14

Власов С.Н., Котылевский Е.А. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ ДЛЯ ПОКРЫТИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА.....19

Власов С.Н., Потапов И.А. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАСЛЯНОЙ ФОРСУНКИ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ДНИЩА ПОРШНЯ ДВИГАТЕЛЯ РАБОЧЕЙ МАШИНЫ27

Власов С.Н., Потапов И.А. РАЗРАБОТКА ГИДРОКОМПЕНСАТОРА ДЛЯ НИЖНЕВАЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ММЗ 246.4М32

Власов С.Н., Семочкин А.Ю. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР НАГРЕВАТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ТЕРМОВАКУУМНОЙ УСТАНОВКИ.....40

Власов С.Н., Семочкин А.Ю. ТЕПЛОЕ СОСТОЯНИЕ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА С МНОГОСЛОЙНЫМ ПОКРЫТИЕМ ПРИ ТОЧЕНИИ45

Власов С.Н., Семочкин А.Ю. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ТЕРМОВАКУУМНОГО НАПЫЛЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК НА ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ДЕТАЛИ.....50

Свириденко М.А., Светлаков Д.О. МЕТОДЫ ОТЧИСТКИ ХРОМА ПЕРЕД НАПЫЛЕНИЕМ62

СЕКЦИЯ 1. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

УДК 62

Шумихин А.А. Существующие бесконтактные методы измерения расстояния

Existing contactless distance measurement methods

Шумихин Антон Андреевич

студент Мытищинского филиала Московского государственного технического университета им. Н. Э.

Баумана,

Россия, г. Мытищи

Shumikhin Anton Andreevich

student Mytishchi branch of the Moscow State Technical University. N. E. Bauman,

Russia, Mytishchi

Аннотация. В статье автор рассматривает вопрос бесконтактных методов измерения расстояния.

Ключевые слова: расстояние, бесконтактные методы.

Abstract. In the article, the author considers the issue of contactless distance measurement methods.

Keywords: distance, contactless methods.

Необходимым компонентом в системе управления автономными мобильными роботами является подсистема избегания столкновений, которая обеспечивает минимизацию ущерба от столкновений с окружающими робота материальными ценностями. Цель исследования возможностей дальномерных датчиков обусловлена необходимостью перемещения мобильного робота в указанную точку поверхности с объездом возникающих препятствий. Для решения такого рода задачи требуется, чтобы робот самостоятельно мог решать задачи собственной текущей локализации, обнаружения и идентификации возможных препятствий, планирования безопасного маршрута для достижения предписанной конечной точки без столкновений с препятствиями.

В данной статье рассмотрены существующие виды дальномерных датчиков в соответствии с их физической природой, так же описаны физические основы измерений и принцип работы. Вначале стоит рассмотреть понятие дальномерных приспособлений. *Дальномер* – устройство, предназначенное для определения расстояния от наблюдателя до объекта. Используется в геодезии, для наводки на резкость в фотографии, в прицельных приспособлениях оружия, систем бомбометания и так далее.

Дальномерные приспособления по физической природе делятся на *оптические* и *звуковые*. Оптические бесконтактные методы измерения расстояний фактически сводятся к трем основным группам:

- Времяимпульсные
- Интерферометрические
- Оптические (триангуляционные)

Звуковые бесконтактные методы дистанционного измерения расстояний сводятся к двум группам:

- Времяимпульсные
- Интерферометрические

Времяимпульсные методы основаны на измерении времени распространения светового импульса и предназначены для измерения больших расстояний с относительно невысокой точностью. Такой метод больше подходит для определения для систем определения препятствий. Такой метод измерения использует ультразвуковой модуль HC-SR04.

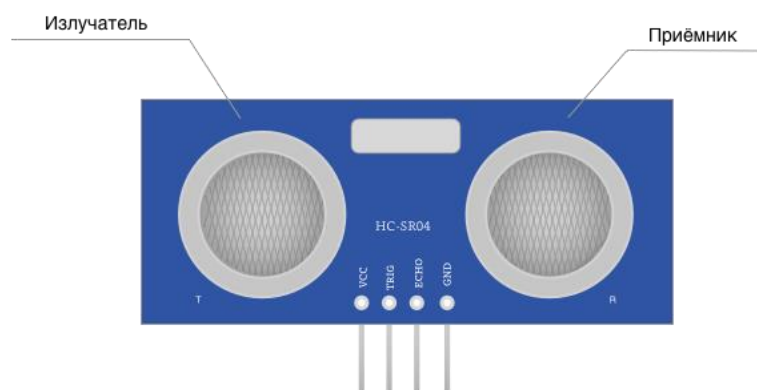


Рисунок 1. Промышленные ультразвуковой дальномерный модуль HC-SR04

Модуль состоит из излучателя и приёмника. Излучатель испускает звуковую волну с частотой 40 кГц, волна отражается от предмета и попадает на приемник:

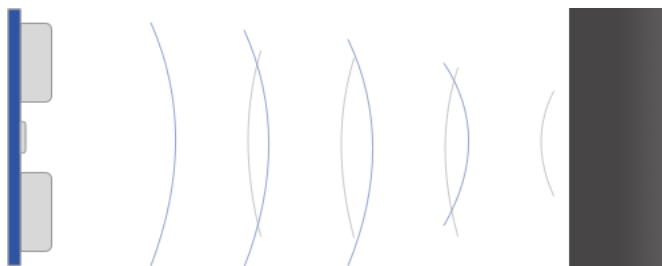


Рисунок 2. Процесс измерения дальности модулем HC-SR04

Аналогичный метод измерения применяется в лазерном модуле VL53L0X.

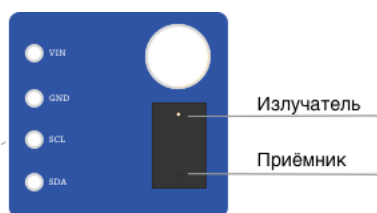


Рисунок 3. Промышленный лазерный дальномерный модуль VL53L0X

Посылается сигнал, который распространяется с характерной скоростью. Он отражается от объекта и возвращается обратно. Время прохождения определяет прошедшее расстояние. Если известна скорость распространения зондирующего импульса в среде, то умножение скорости на половину времени между моментами излучения и приема импульса даст расстояние от излучателя до объекта отразившего сигнал.

$$l = c \cdot \frac{t}{2} \quad (1)$$

где: l – расстояние до предмета;

c – скорость распространения волны;

t – затраченное время;

Оптические триангуляционные методы измерений и реализующие их измерительные системы можно разделить на пассивные, использующие излучение с поверхности анализируемого объекта (или отраженное от его поверхности внешнее естественное излучение), и активные, в которых применяется специальным образом сформированное зондирующее излучение. К пассивным оптическим триангуляционным средствам измерения расстояний относятся системы формирования стерео и многоракурсных изображений. Активные триангуляционные системы основаны, как правило, на лазерной триангуляции или использовании структурного освещения, в том числе некогерентного. В основном такие системы применяются для зондирования объектов с диффузной поверхностью. Триангуляционный метод измерения использует оптический модуль GP2Y0A21YK0F.



Рисунок 4. Промышленный оптический дальномерный модуль GP2Y0A21YK0F

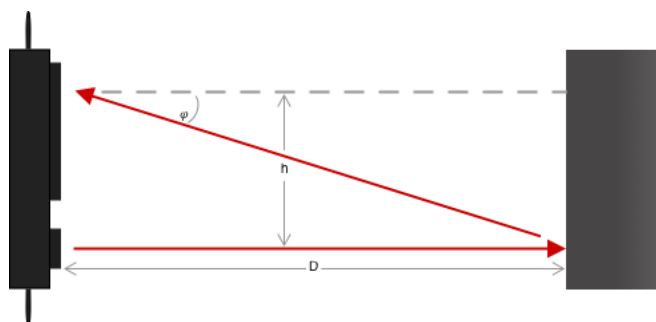


Рисунок 5. Процесс измерения дальности модулем GP2Y0A21YK0F

Принцип действия дальномера состоит в следующем: излучатель и приёмник расположены параллельно друг другу на известном расстоянии (h), излучатель фиксирует точку на объекте, образуя угол φ .

При *интерферометрическом* методе лазерное излучение модулируется по синусоидальному закону. При этом интенсивность излучения меняется в значительных пределах. В зависимости от дальности до объекта изменяется фаза сигнала, упавшего на объект. Отраженный от объекта сигнал придет на приемное устройство также с определенной фазой, зависящей от расстояния. Погрешность измерений в таких системах может быть очень малой - существенно меньше длины волны используемого излучения. Основной недостаток такого метода связан с малым диапазоном измерений.

Стоит отметить, что бурный прогресс в области электроники и потребности обеспечили условия для разработки и использования широкой гаммы дальномеров. А каждый метод измерения находит применение в различных сферах.

Библиографический список

1. GP2Y0A21YK Datasheet - Sharp Electronic Components
2. HC-SR04 Datasheet – P. Marian
3. vl53l0x Datasheet - STMicroelectronics

СЕКЦИЯ 2. МАШИНОСТРОЕНИЕ И ПРОМЫШЛЕННЫЙ ИНЖИНИРИНГ

УДК 66-669.1

**Власов С.Н., Котылевский Е.А. Композиционные материалы на основе
алюминиевых сплавов**

Composite materials based on aluminum alloys

Власов Станислав Николаевич

Кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения,
Дмитровградский инженерно-технологический институт – филиал Национального исследовательского
ядерного университета «МИФИ»

Котылевский Евгений Алексеевич

Магистрант кафедры технологии машиностроения
Дмитровградский инженерно-технологический институт – филиал Национального исследовательского
ядерного университета «МИФИ»

Vlasov Stanislav Nikolaevitch,

Candidate of technical Sciences, associate Professor of engineering technology
Dimitrovgrad Engineering and Technological Institute of the National Research Nuclear University MEPhI
(Moscow Engineering Physics Institute)

Kotilevsky Evgeni Alekseevitch

Master's student of the Department of mechanical engineering technology
Dimitrovgrad Engineering and Technological Institute of the National Research Nuclear University MEPhI
(Moscow Engineering Physics Institute)

***Аннотация.** В статье описаны основные методы получения композиционных материалов с анизотропными свойствами на основе алюминиевых сплавов.*

***Ключевые слова:** заготовка, композиты, анизотропные свойства, расплав, углерод, алюминий.*

***Abstract.** The article describes the main methods of obtaining composite materials with anisotropic properties based on aluminum alloys.*

***Keyword:** harvesting, composites, anisotropic properties, melt, carbon, aluminum.*

В настоящее время при создании ряда изделий и узлов в машиностроении, судостроении, авиационной и ракетно-космической техники находят широкое применение высокопрочные и легкие композиционные материалы (КМ). В качестве наполнителей матриц КМ применяют стекловолокно, асбестовые, углеродные, джутовые, керамические, неорганические, органические, металлические и др. волокна. Волокнистые композиционные материалы, в которых волокна распределены внутри непрерывной матрицы, обладают высокой прочностью, низкой плотностью, повышенной ударной вязкостью, хорошей формующестью и приспособляемостью к нагрузкам. Они могут одновременно служить ограждением, несущей конструкцией, имеют ряд важных функциональных свойств.

Слоистые композиционные материалы, в которых слои из различных материалов непосредственно связаны между собой, либо пропитаны связующим материалом, обладают термоизолирующими свойствами, т.е. имеют низкую теплопроводность. Конструкции из слоистых композитов обладают стабильностью размеров при изменении температуры и влажности, противостоят влиянию внешней среды, износу, разрыву, удару.

В практике создания композиционных материалов алюминий рассматривается как один из основных металлов матричных сплавов углерода-алюминиевых композиций. Поэтому является важным знание технологических факторов и закономерностей, оказывающих влияние на процессы взаимодействия алюминия с углеродными материалами.

Использование алюминия в качестве матричного материала обусловлено широким распространением его в технике, низкой плотностью, коррозионной стойкостью, возможностью регулировать механические свойства алюминиевых сплавов термической обработкой и подвергать их различным видам обработки давлением и литья. Армирование матриц выполняют высокопрочной проволокой из сталей (08Х18Н9Т, 1Х15Н4АМЗ, ЭП322 и др.), бериллиевой проволокой и волокнами бора, карбида кремния, углерода.

Основная проблема при армировании алюминия волокнами бора - предотвращение взаимодействия бора с алюминием. Поэтому промышленный композиционный материал (ВКА-1), содержащий 50% волокон бора, был получен диффузионной сваркой пакета, составленного из чередующихся листов алюминиевой фольги с закрепленными на них слоями борных волокон. Покрытие борного волокна нитридом бора или карбидом кремния снижает его взаимодействие с алюминиевой матрицей даже в расплавленном состоянии. В этом случае открывается возможность получения композиционного материала жидкофазными методами.

Таблица 1

Прочность и жесткость композиции Al-B в зависимости от содержания волокон бора

Содержание волокон бора, % (объем)	0	10	20	30	40	50
Прочность, МПа	70-140	300-380	500-650	700-900	900-1140	1100– 1400
Модуль упругости E, МПа	70	105	135	180	190-200	200-257

В технической литературе нет описания равновесной диаграммы состояния системы алюминий-углерод.

В композиции «Алюминий – углеродные волокна» сочетание низкой плотности арматуры и матрицы позволяет создать композиционные материалы с высокой удельной прочностью и жесткостью. Недостатком углеродных волокон является их хрупкость и высокая реакционная способность. Композицию «Алюминий – углерод» получают пропиткой углеродных

волокон жидким металлом или методами порошковой металлургии. Технологически наиболее просто осуществимо протягивание пучков углеродных волокон через расплав алюминия. Прочность и жесткость композиционного материала ВКА-1, сплавов В95 и АК4-1 показана на рисунке 1.

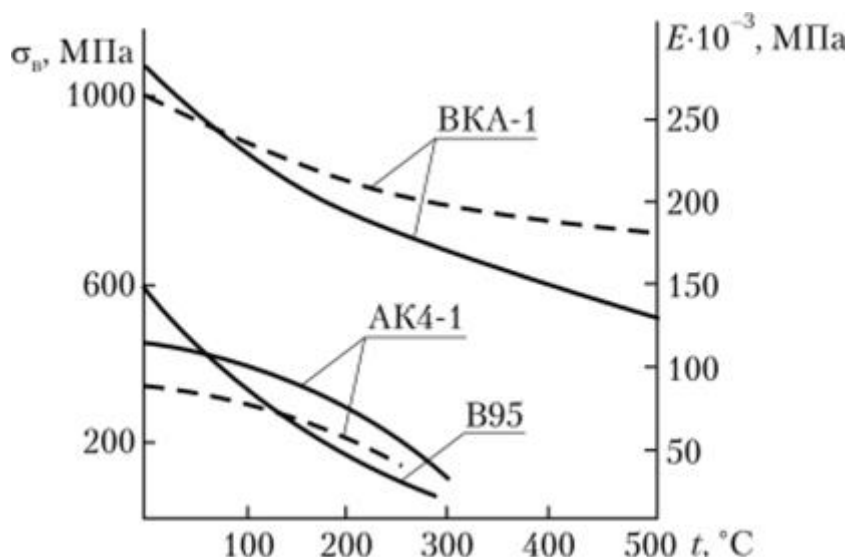


Рисунок 1. Изменение предела прочности (сплошные линии) и модуля упругости (штриховые линии) композиционного материала ВКА-1, сплавов В95 и АК4-1 от температуры

Композит «Алюминий – углерод» применяют в конструкциях топливных баков современных истребителей. Благодаря высокой удельной прочности и жесткости материала масса топливных баков уменьшается на 30 %. Этот материал используют также для изготовления лопаток турбин авиационных газотурбинных двигателей.

Ввиду малой растворимости углерода в алюминии (менее 0,05% по массе при 1570-1770K и практически равной нулю при 1270-1370K), процессы взаимодействия алюминия с углеродом завершаются созданием карбида алюминия (Al_4C_3).

Высокая температура начала смачивания углеродных волокон алюминиевыми сплавами объясняется наличием пленок оксида алюминия на поверхности жидкого металла. После удаления оксидов температура начала смачивания алюминиевыми сплавами поверхности углеродных волокон понижается до 1120-1173 K.

Полученные с помощью микрорентгеноспектрального и фазового рентгеновского анализов данные позволяют сделать выводы о малой пригодности сплавов алюминия, не содержащих сильных карбидообразующих элементов, в качестве матричных при производстве углерода-алюминиевых композиционных материалов[1].

При разработке методов и режимов изготовления УАКМ необходимо объединить волокна и матрицу таким образом, чтобы обеспечить максимально возможное использование

характеристик каждого из компонентов. Для достижения этой цели процесс производства КМ должен обеспечивать выполнение следующих требований: отсутствие механического повреждения волокон, так как при этом снижается прочность; отсутствие охрупчивания матрицы; создание достаточно прочной связи на поверхности раздела матрица — армирующая составляющая композита.

При создании углеалюминиевых композитов, как и других конструкционных композитов, желательно получить материал с высоким уровнем эксплуатационных характеристик.

Прочность композитов определяется прочностью наполнителя (волокон) и матрицы. Однако в процессе применения различных методов и режимов деформации (прокатки, осадки) возможны нарушения сплошности структуры УАКМ, что влияет на прочность исследуемого варианта.

Существуют различные методы получения конечного продукта УАКМ (не полуфабрикаты) и на основании закономерностей формирования структурных несовершенств в процессе деформации возможно применить наиболее эффективную обработку материалов давлением с наименьшей повреждаемостью структуры, т.е. наибольшим значением предела прочности при растяжении.

Для выбора рациональной технологии и оптимизации свойств композиционных материалов важным является решение проблемы совместимости составляющих композиции, особенно в физико-химическом аспекте, поскольку дефекты строения переходных зон или несовершенство формирования фазовых границ раздела, заложенные в композитах на стадии их получения, практически неустранимы при последующей обработке. Такие дефекты будут оказывать отрицательное влияние на свойства композита в целом.

В данной статье был произведён анализ современных разработок в области создания композиционных материалов на основе алюминиевых сплавов, армированных углеродными волокнами. Показано, что использование в качестве наполнителя углеродных волокон в материалах, где в качестве матрицы выступает сплав алюминия, повышает прочностные показатели получаемых композиционных материалов.

Анализ существующих способов получения литейных алюминиевых композиционных сплавов показывает, что традиционные технологии, помимо таких недостатков, как энергоёмкость, сложность и длительность, зачастую экологическая вредность, ограничены в управлении процессом формирования структуры алюминиевых сплавов. Гораздо большими функциональными возможностями, а также доступностью и простотой исполнения отличается активно развивающийся метод СВС. Положительные результаты, полученные в результате первых работ по получению СВС-сплавов в алюминиевом расплаве во всем мире, позволяют сделать вывод о перспективности дальнейшего развития этого направления.

Библиографический список

1. Композиционные материалы: Справочник / Составляли справочник В.В. Васильев, В.Д. Протасов, В.Б. Болотин и др.; под общ. ред. В.В. Васильева, Ю.М. Тарнопольского. – Москва: Машиностроение, 1990. – 512 с.
2. Пространственно-армированные композиционные материалы: Справочник/ Составляли справочник Ю. М. Тарнопольский, И. Г. Жигун, В. А. Поляков. – Москва: Машиностроение, 1987. – 230 с.

УДК 620.162

Власов С.Н., Котылевский Е.А. Методы испытаний материалов из композитов с анизотропными свойствами

Test methods for materials made of composites with anisotropic properties

Власов Станислав Николаевич

Кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения,
Димитровградский инженерно-технологический институт – филиал Национального исследовательского
ядерного университета «МИФИ»

Котылевский Евгений Алексеевич

Магистрант кафедры технологии машиностроения
Димитровградский инженерно-технологический институт – филиал Национального исследовательского
ядерного университета «МИФИ»

Vlasov Stanislav Nikolaevitch,

Candidate of technical Sciences, associate Professor of engineering technology
Dimitrovgrad Engineering and Technological Institute of the National Research Nuclear University MEPHI
(Moscow Engineering Physics Institute)

Kotilevsky Evgeni Alekseevitch

Master's student of the Department of mechanical engineering technology
Dimitrovgrad Engineering and Technological Institute of the National Research Nuclear University MEPHI
(Moscow Engineering Physics Institute)

Аннотация. В статье описаны основные методы испытаний композиционных материалов с анизотропными свойствами. Описана необходимость проведения своевременного контроля заготовок.

Ключевые слова: заготовка, композиты, анизотропные свойства, растяжение, сжатие, изгиб.

Abstract: The article describes the basic test methods for composite materials with anisotropic properties. Describes the need for timely monitoring of blanks.

Keyword: harvesting, composites, anisotropic properties, stretching, compression, bending.

В процессе отработки технологии и изготовления крупногабаритных изделий из композиционных материалов возникает необходимость проведения оперативного контроля значительных площадей конструкций, с последующим уточнением параметров выявленных дефектов (размера, глубины залегания и формы).

Цель данной статьи – определить основные методы испытаний композиционных материалов, выработать алгоритм действий для подготовки заготовок к испытаниям, а также выбрать наиболее подходящее оборудование для проведения данных испытаний.

Основными методами испытания готовых заготовок из композиционных материалов с анизотропными свойствами являются:

1) Метод испытания на сжатие при нормальной, повышенной и пониженной

температурах.

2) Метод испытания на растяжение плоских композиционных образцов.

3) Метод испытания на изгиб при нормальной, повышенной и пониженной температурах.

Данные методы испытаний помогают лучше узнать физику ранее полученных композиционных материалов.

В области испытаний композиционных материалов накоплен огромный опыт, однако развитие материаловедения в части создания новых конструкционных композиционных материалов значительно опережает процессы стандартизации в области разработки и создания научно обоснованных методов испытания композитов.

Анализ влияния технологических и эксплуатационных дефектов является немаловажной задачей. Например, при эксплуатации конструкций из композиционных материалов в составе двигательной установки неизбежно возникают различные дефекты, в том числе, обусловленные случайными механическими воздействиями. Дефекты могут носить поверхностный характер в виде царапин, надрезов, повреждений одного или нескольких поверхностных слоев, а могут иметь вид несквозного и сквозного пробоя стенки элемента конструкции.

Помимо нахождения значений основных характеристик в процессе испытания также необходимо определять и анализировать диаграммы нагружения и деформирования. С этой целью используются серво-гидравлические и электромеханические испытательные и высокоточные измерительные системы. Современные испытательные системы позволяют проводить экспериментальные исследования закономерностей процессов деформирования и разрушения различных конструкционных и функциональных материалов в широком диапазоне скоростей нагружения, а также условиях реализации сложных режимов температурно-силового воздействия[1].

Также важной задачей является оценка опасности деградации физико-механических свойств полимерных волокнистых композитов ответственного назначения при воздействии эксплуатационных загрязняющих сред, таких как – топливо, машинное масло, растворители и т.д.

Алгоритм основных действий при подготовке к испытанию образцов однонаправленных композитов с использованием специальных захватных приспособлений включает в себя: отбор образцов однонаправленного композита постоянного сечения, по возможности без наружных дефектов (отслоение, трещины, сколы связующего); измерение геометрических параметров; очистка от замасливания образцов при помощи ацетона; очистка от замасливания внутренних поверхностей стальных гильз; приготовление эпоксидного клея и заливание готового клея в стальную гильзу; установка образца материала в гильзе; выдержка в

течении 24 ч. в сушильном шкафу с постоянной температурой (+ 30° С - + 35° С); нанесение меток на рабочую часть образца при помощи специального маркера[2].

Для испытания композиционных материалов на основные характеристики (сжатие, растяжение, сдвиг, изгиб), использована электромеханическая универсальная машина WDW-200E (рисунок 1). Имеющийся набор захватов данной испытательной машины, позволяет проводить испытания на растяжение стандартных образцов с резьбовыми головками, плоских образцов, тросов, канатов, образцов из высокоэластичных материалов [3]. Основные технические характеристики данной испытательной машины приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные технические характеристики разрывной машины WDW-200E

Максимальная нагрузка, кН	200
Жесткость силовой рамы, кН/мм	600
Точность измерения нагрузки, %	1
Диапазон измерения нагрузки, %	0,4-100
Диапазон измерения деформации, %	2-100



Рисунок 1. Общий вид разрывной машины WDW- 200E

Основные преимущества испытательной машины WDW-200E:

- Большая рабочая зона для испытаний на растяжение, сжатие и изгиб.
- Высокая жесткость конструкции силовой рамы для точного перемещения траверсы.

- Высокая точность позиционирования траверсы при пуске и останове теста, и контроль скорости при испытании.
- Датчик силы установлен на подвижной траверсе.
- Концевые выключатели для защиты оператора и узлов испытательной машины.
- Программная защита от перегруза датчика силы, и кнопка аварийного останова.
- Выносной пульт для ручного управления траверсой при установке образца в зоне испытания [4].

Исследованиями на растяжение композиционных материалов на основе различных стекло и углепластиков показано, что прочность слоистого композиционного материала при межслойном сдвиге определяется в основном силами сцепления на поверхностях контакта матрицы и наполнителя и касательными напряжениями, действующими на этой поверхности. Для экспериментального определения прочности при сдвиговых напряжениях важно знать действительное значение касательных напряжений при разрушении образца. Это значение зависит от способа испытаний на межслойный сдвиг, схемы нагружения, формы и размеров образца, а также от всех отклонений от идеализированной структуры материала, вносимых технологией изготовления композиционных материалов (нерегулярная укладка арматуры, искривление волокон, пустоты).



Рисунок 2. Вид образцов перед испытанием



Рисунок 3. Вид образца после испытания

В данной статье был произведён обзор разработок в области испытаний композиционных материалов с анизотропными свойствами. Выведены основные методы испытаний заготовок. Описан алгоритм основных действий при подготовке заготовок к испытаниям. Приведено рекомендованное оборудование для этих испытаний. Выполнен эксперимент для определения некоторых характеристик образцов из композиционного материала при растяжении на разрывной машине WDW- 200E.

Библиографический список

1. Рабинович, А.Л. Введение в механику армированных полимеров / А.Л. Рабинович. М.: Наука, 1970. - 484 с.
2. Васильев, В.В. Композиционные материалы: Справочник / В.В. Васильев, В.Д. Протасов, В.В. Болотин и др.; / Под общ. ред. В.В. Васильева, Ю.М. Тарнопольского. -М.: Машиностроение, 1990. 512 е.; ил.
3. Малкин, А.Я. Методы измерения механических свойств полимеров / А.Я. Малкин, А.А. Аскадский, В.В. Коврига. М.: Химия, 1978. - 330 с.

УДК 66-669.1

Власов С.Н., Котылевский Е.А. Применение метода ионной имплантации для покрытия режущего инструмента

Application of ion implantation method to cover the cutting tool

Власов Станислав Николаевич

Кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения,
Дмитровградский инженерно-технологический институт – филиал Национального
исследовательского ядерного университета «МИФИ»

Котылевский Евгений Алексеевич

Магистрант кафедры технологии машиностроения
Дмитровградский инженерно-технологический институт – филиал Национального
исследовательского ядерного университета «МИФИ»

Vlasov Stanislav Nikolaevitch,

Candidate of technical Sciences, associate Professor of engineering technology
Dimitrovgrad Engineering and Technological Institute of the National Research Nuclear University
MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute)

Kotilevsky Evgeni Alekseevitch

Master's student of the Department of mechanical engineering technology
Dimitrovgrad Engineering and Technological Institute of the National Research Nuclear University
MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute)

Аннотация. В настоящей статье рассмотрено применение метода ионной имплантации для покрытия режущего инструмента. Приведены теоретические и экспериментальные исследования влияния ионной имплантации на физико-механические свойства поверхностного слоя инструмента.

Ключевые слова: инструмент, сталь, нитрид, покрытие, ионная имплантация.

Abstract: this article describes the application of the ion implantation method to cover the cutting tool. Theoretical and experimental studies of the effect of ion implantation on the physical and mechanical properties of the surface layer of the tool are presented.

Keywords: tool, steel, nitride, coating, ion implantation.

Ионная имплантация является одним из перспективных методов управления прочностными свойствами поверхностных слоев металлов и сплавов и эффективным методом модификации микроструктуры и элементного состава поверхностных слоев конструкционных и инструментальных материалов вследствие формирования твердых растворов высокой концентрации, фаз внедрения или интерметаллидных соединений.

Одним из актуальных направлений метода ионной имплантации является формирование интерметаллидных соединений в поверхностных слоях металлов. Интерметаллиды представляют уникальный класс материалов, которые по своим характеристикам существенно превосходят обычные металлы. Выбор интерметаллидов обусловлен комплексом необходимых для техники свойств. Для разработки высокопрочных и износостойких конструкционных материалов на

основе интерметаллидных соединений наибольший интерес представляют системы никель-алюминий и никель - титан. Единственным недостатком, ограничивающим применение этих материалов, является хрупкость. Пластичными интерметаллиды становятся при уменьшении размера зерна ниже критического размера.

Поэтому особое внимание исследователей уделяется возможности использования ионной имплантации для синтеза интерметаллидных фаз в ультрадисперсном и нанокристаллическом состояниях в поверхностных слоях металлов, что позволяет значительно улучшить механические свойства поверхностных слоев материалов.

Процесс ионной имплантации и состояние модифицированных слоев характеризуются следующими основными параметрами, изменение которых оказывает определяющее влияние на свойства обрабатываемых поверхностей:

1) Распределение внедренных атомов по толщине. Оно зависит от энергии ионов, природы материала подложки, температуры поверхности. Для регулирования профиля распределения плотности легирующих атомов, как уже отмечалось, используется дополнительная термообработка.

2) Максимальная допустимая доза легирования – количество ионов, внедренных на единицу поверхности обрабатываемой детали. Как правило, эта доза находится в пределах $D = 10^{16} \dots 10^{18}$ ион/см².

3) Параметры, характеризующие взаимодействие ионов с атомами поверхностного слоя (скорость образования дефектов, характер и структура образующихся химических соединений и т. д.).

4) Параметры, определяющие изменения структуры и свойств легированных слоев в зависимости от дозы облучения, плотности радиационных дефектов и т.д.

Основной характеристикой степени обработки при ионной имплантации является распределение имплантированных ионов по толщине поверхностного слоя. При взаимодействии иона с поверхностью в процессе многократных столкновений с атомами мишени происходит передача кинетической энергии, и в итоге ион, внедрившийся на некоторое расстояние от поверхности, теряет эту энергию полностью. Для характеристики этого процесса используют следующие параметры: пробег иона R – это путь, который проходит ион до полной потери кинетической энергии (на основании экспериментальных данных этот параметр определить сложно); проекцию пробега иона R_x – расстояние, на которое внедрился ион от поверхности.

Для характеристики взаимодействия большого числа ионов с поверхностью используют функцию распределения плотности имплантированных атомов по толщине слоя dN/dx (dN – число имплантированных атомов, находящихся на расстоянии x от поверхности в слое толщиной dx). В общем случае функция dN/dx зависит от соотношения масс атомов поверхности и ионов,

энергии иона, структуры поверхностного слоя (типа кристаллической решетки). Она чувствительна к протяженным дефектам, зависит от температуры и структурных характеристик поверхностного слоя.

Рассмотрим влияние энергии ионов на процессы энергообмена при их столкновении с атомами мишени. При движении ионов в объеме поверхностного слоя различают два вида потерь энергии:

- Потери энергии при взаимодействии с электронами в свободном или связанном состоянии. Этот вид взаимодействия характеризуется S_e – коэффициентом электронной составляющей торможения.

- Потери энергии при взаимодействии с ядрами. Этот вид потери учитывает параметр S_y – ядерная составляющая процесса торможения.

В общем случае, изменение энергии иона dE при прохождении им расстояния dx может быть оценено с помощью выражения:

$$\frac{dE}{dx} = -N(S_y + S_e), \quad (1)$$

где N – концентрация атомов мишени.

Отсюда

$$dx = -\frac{dE}{N} \cdot \frac{1}{S_y + S_e}. \quad (2)$$

Тогда проекция пробега

$$R_x = \int_0^E \frac{1}{N(S_y + S_e)} dE. \quad (3)$$

Известно, что ядерная составляющая процесса торможения S_y практически не зависит от энергии ионов. Электронная составляющая прямо пропорциональна скорости иона (рис.3):

$$S_e = aV = kE^{0,5} \quad (4)$$

(a и k – постоянные для данного иона и материала мишени коэффициенты).

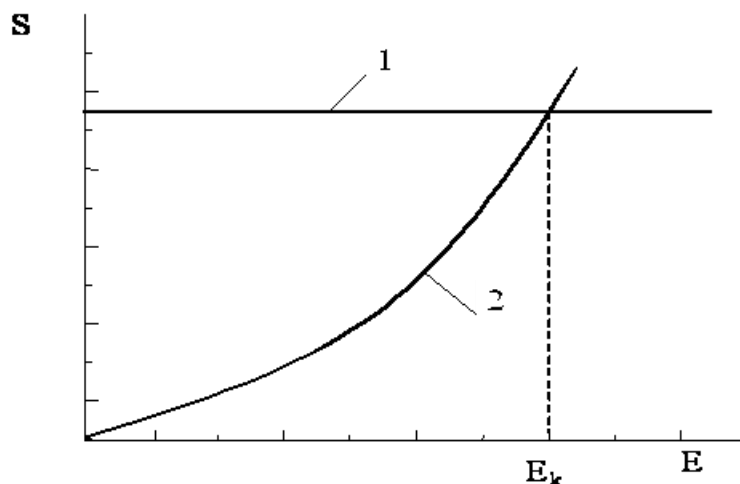


Рисунок 1. Зависимость ядерной (1) и электронной (2) составляющих процесса торможения от энергии иона

Как видно из рис.1, при энергии иона $E = E_k$ ядерная и электронная составляющие равны ($S_e = S_j$). Оценки показывают, что для металлов $E_k = 103 \dots 104$ эВ.

При анализе (1) рассмотрим характерные случаи.

1. Обработка поверхности ионами, имеющими низкую энергию ($E \ll E_k$). В этом случае основным процессом, определяющим торможение ионов, является рассеивание на ядрах. Тогда $S_j \gg S_e$ и из (1) следует, что $R_x \sim E$.

2. Воздействие на поверхность высокоэнергетичных ионов ($E \gg E_k$). Тогда $S_j \ll S_e$ и достаточно точно проекционный пробег может быть определен с помощью соотношения

$$R_x = 5E^{0,5} \quad (5)$$

Отметим, что второй случай является весьма характерным для практических приложений, и выражение (5) часто используется при проведении предварительных расчетов. Так, например, при обработке ионами с энергией $E = 106$ эВ (или $E = 16 \cdot 10^{-14}$ Дж) глубина внедрения ионов $R_x = 2$ мкм.

Как правило, при обработке ионами средней энергии максимум концентрации имплантированных атомов приходится на расстояние $0,1 \dots 0,8$ мкм от поверхности. Концентрация легирующих элементов в этом слое может достигать $1 \dots 30$ %. [1].

Транспортировка и фокусировка заряженных частиц на мишени осуществляется с помощью электростатических и магнитных полей в виде формирующих систем (линз).

Основные технологические операции обработки поверхности с использованием ионных пучков — ионное перемешивание и имплантация.

Метод ионного перемешивания заключается в интенсивном перемешивании при ионном облучении тонкой пленки легирующего элемента, предварительно нанесенной на поверхность, и материала основы (подложки). В качестве бомбардирующих ионов используют

ионы инертных газов (Ar^+ , Kr^+ , Xe^+) с энергией 10–1000 кэВ, длина пробега которых должна соответствовать толщине пленки легирующего элемента (до 1–2 мкм), а пик энерговыделения должен попадать на межфазную границу.

Ионная имплантация является наиболее распространенной технологической операцией модифицирования поверхности с использованием ионных пучков. Она как способ прецизионного легирования позволяет ввести практически любой легирующий элемент в условиях точного контроля его количества, распределения, чистоты (масс-спектрометрическая сепарация) и низкой температуры процесса.

Ионная имплантация, применяемая для модифицирования конструкционных металлов и сплавов, обеспечивает следующие преимущества:

- образование неравновесных, метастабильных структурно-фазовых состояний, в том числе аморфного состояния, которые недостижимы в обычных условиях из-за ограниченной растворимости и диффузионной подвижности компонентов;
- формирование постепенного перехода от поверхностного модифицированного слоя в объем материала;
- контроль глубины модифицированного слоя при отсутствии изменений размеров изделия.

Особенностью ионной имплантации является образование высокой плотности радиационных дефектов, которая на 2–3 порядка превосходит концентрацию имплантированных ионов.

Для модифицирования металлических сплавов применяют легкие (He^+ , B^+ , C^+ , N^+), а также тяжелые (Al^+ , Ar^+ , Ti^+ , Cr^+ , Ni^+ , Nb^+ , Mo^+) ионы.

Накопление большого количества радиационных дефектов в условиях относительно низких температур воздействия ионных пучков приводит к аморфизации материала мишени.

Критический флюенс, приводящий к аморфизации, зависит от массы иона и температуры мишени при облучении.

В общем случае упрочнение при ионной имплантации определяется:

- формированием аморфного состояния;
- твердорастворным механизмом за счет имплантации легирующих элементов с образованием метастабильных пересыщенных твердых растворов внедрения, замещения;
- деформационным механизмом в результате образования высокой плотности радиационных дефектов — скоплений межузельных атомов, дислокационных петель и др.;
- дисперсионным механизмом вследствие образования высокодисперсных выделений метастабильных фаз, препятствующих движению дислокаций.

Одно из практически важных достоинств метода ионной имплантации заключается в том, что благодаря ему значительно повышается износостойкость металлических материалов (до 20 раз).

При модифицировании низкоуглеродистых сталей наиболее эффективна имплантация ионов легких элементов азота, углерода, бора, и том числе и совместная, что обусловлено высокой интенсивностью их взаимодействия с дефектами и образования сегрегаций, дислокационных атмосфер, тормозящих перемещение дислокаций.

Положение максимума износостойкости на кривой дозовой зависимости износостойкости низкоуглеродистой стали (рис.2) при облучении ионами азота с энергией 30 кэВ и флюенсом 10^{17} ион/см² соответствует образованию нитрида железа ($\gamma\text{-Fe}_4\text{N}$).

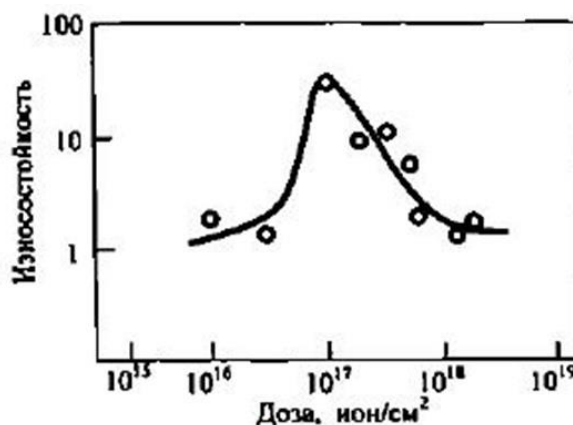


Рисунок 2. Влияние интенсивности обработки ионами азота (доза) энергией 30кэВ на износотойкость низкоуглеродистой стали

Увеличение долговечности режущего, штампового инструмента, волоочильных фильер в 2–5 раз, повышение производительности при вытяжке прутков и проволоки до 5 раз, снижение налипания металла при штамповке, улучшение качества продукции достигается при имплантации ионов N^+ , C^+ , Co^+ .

При имплантации ионов азота с флюсисом 10^{17} ион/см² в низкоуглеродистую и коррозионно-стойкие стали, титан, сплав $\text{Ti}-6\text{Al}-4\text{V}$ наблюдается увеличение долговечности металлических материалов в 8–10 раз при работе в условиях развития усталости.

Главными факторами, определяющими высокую коррозионную стойкость металлических сплавов при ионном облучении, являются формирование при ионном легировании однородной пассивирующей пленки, аморфизации поверхностного слоя.

В общем случае коррозионное поведение аморфизованной посредством ионной имплантации поверхности сплава аналогично поведению сплава, полученного методом спиннингования.

Аморфизация чистых металлов обычно протекает при существенно более высоких скоростях охлаждения по сравнению с относительно легко аморфизируемыми сплавами с добавками аморфизаторов, к числу которых относятся металлоиды типа C, P, B, Si и др.

При быстрой закалке в результате МИП-обработки сталей в твердом состоянии, кроме эффекта пересыщения твердого раствора углеродом и легирующими элементами, происходит существенное измельчение зерна и частиц карбидных фаз, что повышает твердость и прочность стали. В частности, при обработке инструментальной стали смешанным пучком ионов H^+ и C^+ (энергия ионов 0,5-1,0 МэВ, энергосодержание 10 Дж/см², длительность импульса 40 нс) происходит растворение карбидов, переход углерода в твердый раствор α -Fe и измельчение зерна до 20 нм. Микротвердость инструментальной стали в результате обработки увеличивается с 330 до 900 МПа, а работоспособность инструмента возрастает в 1,7-3,5 раза.

Технологическое использование МИП в режиме радиационно-стимулированного испарения (пучково-эрозионная обработка (ПЭО)) осуществляется, например, для очистки и полировки поверхности, удаления ранее нанесенных пленок и покрытий.

ПЭО может быть использована для увеличения адгезии износостойкого покрытия после предварительной обработки поверхности, для очистки лопаток газотурбинных авиационных двигателей от нагара в виде сложных оксидов и карбидов, а также формирования оптимального структурно-фазового состояния поверхности компрессорных лопаток из сплавов титана BT18Y и BT9, обеспечивающего увеличение их ресурса.

При выборе режима ПЭО, обеспечивающего направленный выброс (абляцию) вещества мишени и резкое охлаждение конденсата, получают ультрадисперсные порошки (УДП) с зернами размером 5–25 нм. Они используются для изготовления высокоэффективных химических катализаторов, мощных магнитов и т.п.

Метод прямой имплантации ионов пучка также позволяет изменять химический состав и фазовое состояние поверхностного слоя.

В сложнелегированных сплавах при воздействии МИП происходит существенное перераспределение компонентов сплава как в зоне имплантации, так и в глубине мишени, вследствие радиационно-ускоренной диффузии.

При МИП-обработке инструмента, изготовленного из стали Р6М5, происходит измельчение зерна до наноразмеров, формирование дефектов на глубине до 40–50 мкм и перераспределение компонентов стали с обогащением углеродом поверхностных слоев. Эти изменения структурно-фазового состояния стали сопровождаются повышением износостойкости в результате устранения выкрашивания и переходом к равномерному износу инструмента.

При оптимальном выборе параметров МИП-обработки твердосплавных пластин типа ВК (WC(TiC)+Co) образуются новые двойные и тройные фазы типа $Co_xW_yC_z$, в карбиде вольфрама

происходит измельчение субструктуры, формирование развитой дислокационной структуры и увеличение концентрации дефектов упаковки, а также имеет место оплавление кобальтовой матрицы, которое позволяет залечить дефекты поверхности, что существенно увеличивает ресурс пластин.

При МИП-обработке жаропрочного сплава на основе титана BT6 образуется метастабильный мелкодисперсный α' -мартенсит с развитой дислокационной структурой, увеличиваются пластические и снижаются прочностные характеристики сплава. Последующее старение сопровождается значительным увеличением микротвердости сплавов.

Обработка сталей перлитного класса МИП приводит к возрастанию плотности дислокаций в феррите (до образования ячеистой структуры) и перлите (формируется сетка дислокаций), а также к повышению дисперсности перлита в результате диспергирования цементитных пластин с растворением Fe_3C и образованием частиц метастабильной фазы FeC округлой формы.

Библиографический список

1. Матюхин С.И. Ионная имплантация как метод внедрения атомных частиц в углеродные наноструктуры // Тез. докл. Междунар. конф. «Химия твердого тела и современные микро- и нанотехнологии. - Кисловодск, Россия, 2002, с. 77.
2. Рожков В.В., Матюхин С.И. Использование каналирования для ионной имплантации атомных частиц в углеродные наноструктуры // Труды XV Междунар. конф. по физике радиационных явлений и радиационному материаловедению. - Алушта, Украина, 2002, с.277.
3. Вавилов В.С., Челядинский А.Р., Ионная имплантация примесей в монокристаллы кремния: эффективность метода и радиационные нарушения. // УФН. 1995. Т.165. №3. С.347.
4. Матюхин С.И. Стохастическая теория каналирования быстрых частиц в монокристаллах. // Дис... канд. ф.-м. наук, Москва, 1997.

УДК 62

Власов С.Н., Потапов И.А. Разработка и исследование масляной форсунки для охлаждения днища поршня двигателя рабочей машины

Development and investigation of oil nozzle to cool the bottom of piston engine working machine

Власов Станислав Николаевич

Кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения,
Дмитровградский инженерно-технологический институт – филиал Национального исследовательского
ядерного университета «МИФИ»

Потапов Иван Андреевич

Магистрант кафедры технологии машиностроения
Дмитровградский инженерно-технологический институт – филиал Национального исследовательского
ядерного университета «МИФИ»

Vlasov Stanislav Nikolaevitch,

Candidate of technical Sciences, associate Professor of engineering technology
Dimitrovgrad Engineering and Technological Institute of the National Research Nuclear University MEPhI
(Moscow Engineering Physics Institute)

Potapov Ivan Andreevich

Master's student of the Department of mechanical engineering technology
Dimitrovgrad Engineering and Technological Institute of the National Research Nuclear University MEPhI
(Moscow Engineering Physics Institute)

***Аннотация.** В статье приведены результаты: обзора существующих систем охлаждения днища поршня, теоретического и экспериментального исследования характеристик разработанной масляной форсунки для охлаждения днища поршня рабочей машины и оптимизации работы двигателя на повышенных режимах работы.*

***Ключевые слова:** масляная форсунка, двигатель, охлаждение днища поршня, рабочая машина.*

***Abstract:** to the article the results a review of the existing cooling the piston, the results of theoretical and experimental studies of the characteristics developed by the oil nozzles for cooling the piston engine bottoms of working machine and optimization of the engine at higher modes.*

***Keywords:** oil jet, engine, cooling of the piston head, a working car.*

Основной агрегат машины – двигатель. Тяжелые температурные условия работы узла приводят к его перегреву, особенно основных элементов, которыми являются поршни. Для эффективного снижения температуры поршней во время движения автомобиля их днища охлаждаются маслом. Для этих целей используются масляные форсунки. Они монтируются в масляный канал, и их сопла направляются на днища поршней.

Конструктивно форсунки делятся на три вида: сопловая, клапанная и клапанно-сопловая.

1) Сопловая форсунка – форсунка открытого типа, которая имеет калиброванное сопло, с определенным соотношением диаметра к его длине (рис. 1.).

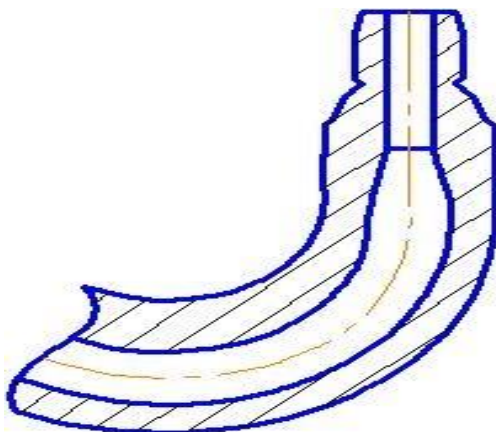


Рисунок 1. Сопловая форсунка

Она позволяет подавать масло к днищу поршня постоянно, независимо от оборотов двигателя. Отсутствие редукционного клапана влечет к снижению давления масла в масляной магистрали на холостых оборотах двигателя, что ведет к износу коренных и шатунных подшипников, и является основным недостатком данной конструкции. Из плюсов конструкции – простота в изготовлении и дешевизна.

2) Клапанная форсунка – форсунка у которой запорный клапан выполняет роль распылителя (рис. 2.)



Рисунок 2. Клапанная форсунка

Клапанная форсунка в отечественных автомобилях применяется на 16-ти клапанных двигателях ВАЗ. Она позволяет стабилизировать давление масла на холостых оборотах двигателя, но не формирует четкую струю масла, что немаловажно, так как для стабильного

охлаждения необходимо обеспечить стабильное пятно контакта масла с днищем. При отсутствии четкой струи масла не возможно поставить на двигатель поршни с тангенциальным завихрителем масла которые позволяют добиться охлаждения изнутри.

Еще одним недостатком данной конструкции является то, что после установки форсунки невозможно подкорректировать направление струи масла.

Клапанно-сопловая – объединяет в себе свойства клапана и сопла. Сочетает в себе достоинства вышеперечисленных конструкций, что является необходимым условием для выполнения технических требований эксплуатации рабочих машин (рис. 3.).

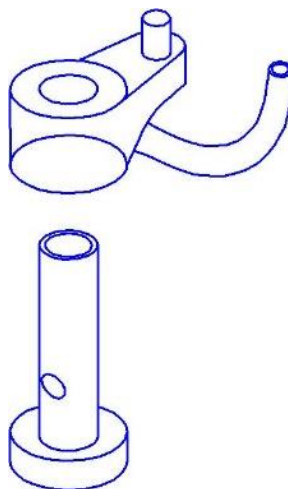


Рисунок 3. Клапанно-сопловая форсунка

Клапанно-сопловая форсунка начинает работать только при повышенных оборотах двигателя и соответственно с высоким давлением масла. Под давлением масла клапан, находящийся в форсунке открывается и масло из сопла попадает снизу на поршень. На холостых оборотах небольшое давление масла не позволяет открыться редукционному клапану и это обеспечивает нормальную смазку вкладышей коленчатого вала и избежать масляного голодания.

При разработке форсунки для двигателя рабочей машины акцент был сделан именно на клапанно-сопловую форсунку. Применительно к двигателю для нее были сформулированы следующие технические требования:

1. Рабочее тело - моторное масло универсальное по ТУ 0253 - 003 - 48120848 - 2001.
2. Номинальное давление масла (350 ± 5) кПа при расходе 1,25 л/мин.
3. Максимальное давление масла (900) кПа.
4. Температура рабочего тела от минус 40 °С до плюс 140 °С.
5. При давлении воздуха (60 ± 5) кПа утечки через клапан форсунки не более 0,8 см³/мин.

6. Давление открытия клапана (100 ± 5) кПа.

7. Высота струи должна составлять (182 ± 2) мм при давлении масла ($80...350$ 5) кПа.

На основе чертежей масляной форсунки были изготовленные опытные образцы для испытаний. Произведены испытания форсунки на стенде, которые наглядно показали что опытные образцы работают и были рассчитаны верно (рис. 4).

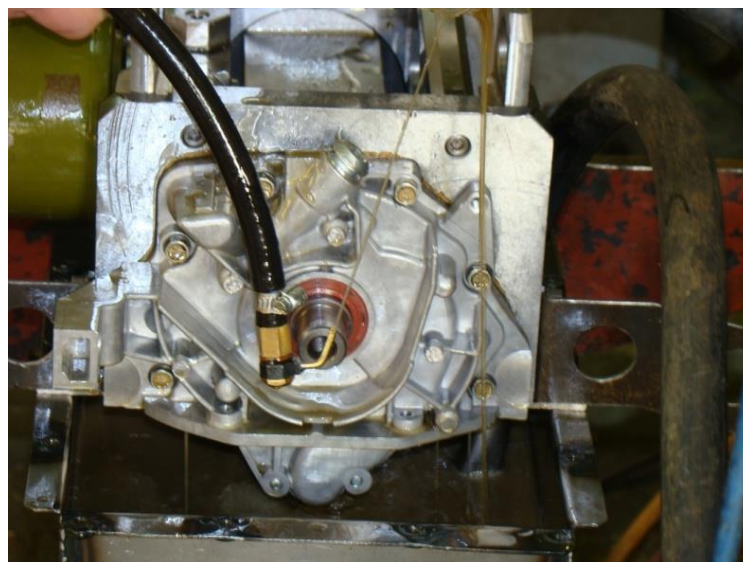


Рисунок 4. Клапанно-сопловая форсунка на стенде

В ходе проведения исследований разработанной форсунки были получены экспериментальные данные работы клапанно-сопловой форсунки при впрыскивании в атмосферу (рис.5).

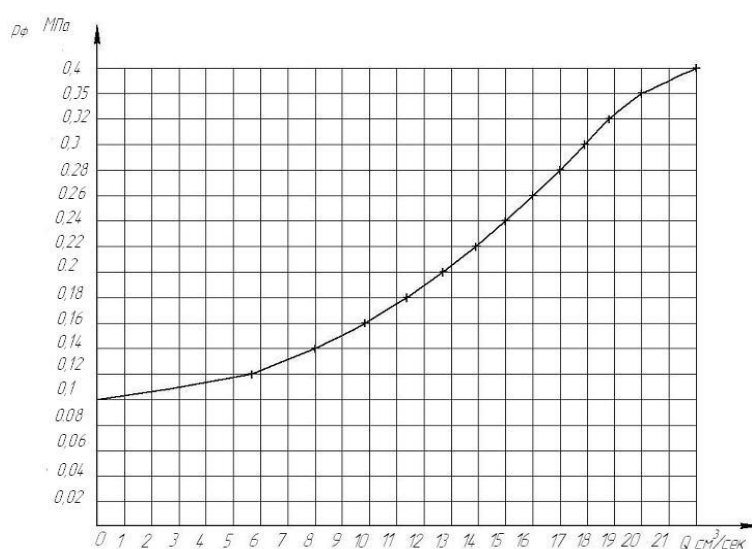


Рисунок 5. Характеристика впрыскивания клапанно – сопловой форсунки в атмосферу. Q-объёмный расход см³/сек; рФ-давление впрыскивания кгс/см².

Разработанная масляная форсунка для охлаждения днища поршня рабочей машины показала свою работоспособность и соответствие заданным техническим характеристикам. В дальнейшем целесообразно интегрировать форсунку непосредственно в двигатель и провести моторные испытания.

Библиографический список

1. Ефимов С.И., Иващенко Н.А., Ивин В.И. Двигатели внутреннего сгорания: Системы поршневых и комбинированных двигателей / под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 456 с.
2. Р.И. Давтяна. Анализ технического уровня и тенденций развития ДВС / под. ред. Р.И. Давтяна. – М., 1998. – 92 с.
3. А.В. Богатырев, Ю.К. Есеновский-Лашков, М.Л. Насоновский. Автомобили. – М.: Колос, 2005. – 493 с.
4. С.К. Шестопапов. Устройство, техобслуживание и ремонт легковых автомобилей. – М.: Изд. Центр «Академия», 2004. – 541 с.
5. В.К. Вахламов. Автомобили: Теория и конструкция автомобиля и двигателя: Учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / В.К. Вахламов, М.Г. Шатров, А.А. Юрчевский / под ред. А.А. Юрчевского. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 816 с.
6. В.П. Тарасик. Теория автомобилей и двигателей: Учебное пособие / В.П. Тарасик, М.П. Бренч. – Мн.: Новое знание, 2008. – 400 с.
7. А.Н. Гордов, О.М. Жагуло., А.Г. Иванова. Основы температурных измерений. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 304 с.
8. А.Н. Гоц., Ю.Г. Гонущкин. Погрешности измерений при экспериментальных исследованиях двигателей внутреннего сгорания: Учебное пособие / Вла-дим. гос. ун-т Владимир, 2003. – 64 с.
9. Н.Х. Дьяченко, С.Н. Дашков, А.К. Костин, М.М. Бурин. Теплообмен в двигателях и теплонапряженность их деталей. – Х.: Машиностроение, 1969.
10. Казанцев А.Г. Малоцикловая усталость при сложном термомеханическом нагружении. -М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001.- 248 с.
11. Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн.2. Динамика и конструирование: Учеб./ Луканин В.Н., Алексеев И.В., Шатров М.Г. и др.; Под ред Луканина В.Н. - М.: Высшая школа, 1995. - 319 с.

УДК 621. 43-38

Власов С.Н., Потапов И.А. Разработка гидрокомпенсатора для нижневального двигателя ММЗ 246.4м

Development of hydrocontensor for engine MMZ 246.4m

Власов Станислав Николаевич

Кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения,
Дмитровградский инженерно-технологический институт – филиал Национального исследовательского
ядерного университета «МИФИ»

Потапов Иван Андреевич

Магистрант кафедры технологии машиностроения
Дмитровградский инженерно-технологический институт – филиал Национального исследовательского
ядерного университета «МИФИ»

Vlasov Stanislav Nikolaevitch,
Candidate of technical Sciences, associate Professor of engineering technology
Dimitrovgrad Engineering and Technological Institute of the National Research Nuclear University MEPhI
(Moscow Engineering Physics Institute)

Potapov Ivan Andreevich
Master's student of the Department of mechanical engineering technology
Dimitrovgrad Engineering and Technological Institute of the National Research Nuclear University MEPhI
(Moscow Engineering Physics Institute)

Аннотация. В статье приведены технические требования для корректной эксплуатации и установки разработанного гидрокомпенсатора, произведен обзор допустимого остаточного загрязнения для различных конструкций гидрокомпенсаторов, определены технические характеристики оригинального гидравлического толкателя.

Ключевые слова: гидрокомпенсатор, плунжерная пара, гидравлический толкатель, привод ГРМ, клапан.

Abstract: to the article presents the technical requirements for the correct operation and installation of the developed hydraulic tappet, reviewed the allowable residual contamination for various hydraulic tappets designs, defined the technical characteristics of the original hydraulic tappet.

Keywords: tappet, plunger pair, hydraulic valve lifters, timing drive, valve.

Увеличение межсервисного обслуживания двигателей обеспечивающих экологические требования Euro-5 становится все актуальнее в наши дни.

Гидрокомпенсатор – устройство предназначенное для автоматической регулировки тепловых зазоров клапанов двигателя. Регулировка заключается в автоматическом изменении длины гидрокомпенсатора на величину обеспечивающую постоянный тепловой зазор между клапаном и рычагом в газораспределительном механизме (ГРМ) например рис. 1. Этот зазор компенсируется перемещением его деталей под действием пружины (при увеличении зазора) и подачей масла из системы смазки двигателя для поддержания зазора постоянным.

Основными деталями гидрокомпенсатора являются: корпус, плунжерная пара, пружина плунжера и обратный клапан. Корпусом может служить (в зависимости от конструкции привода клапанов) цилиндрический толкатель, коромысло или часть головки блока цилиндров.

Плунжерная пара состоит из:

1. втулки, обеспечивающей движение плунжера в строго заданном направлении.

Зазор между ними составляет 5-8 мкм для обеспечения герметичности;

2. плунжера – стального цилиндра, в нижней части которого имеется отверстие, соединяющее полости внутри плунжера и под ним. В некоторых конструкциях с одноплечим рычагом используется плунжер без внутренней полости, а верхняя часть его имеет вид сферической головки и служит опорой.

Пружина плунжера расположена между ним и втулкой (в полости под плунжером). Обратный клапан в большинстве случаев представляет собой стальной подпружиненный шарик.

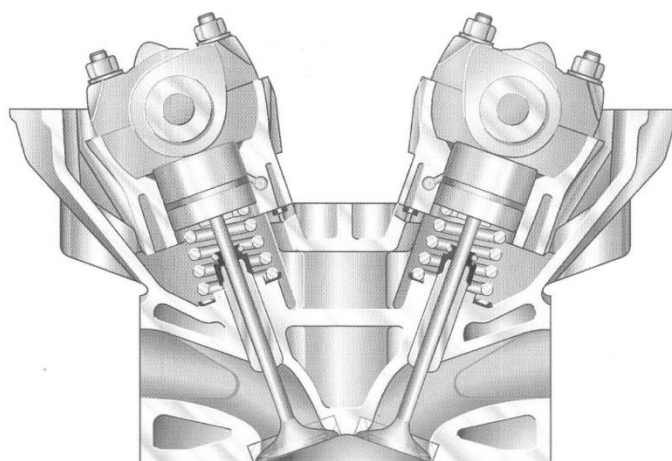


Рисунок 1. Привод ГРМ

Замена механической системы компенсации зазоров на гидравлическую систему, обусловлена следующими причинами:

1. Клапанный зазор состоит из обусловленных температурой смещений, сглаживания и забивания седла клапана в межсервисные периоды, а также допусков регулировки. В результате со стороны клапанов образуются ступени высотой от 0,2 до 0,5 мм и длиной от 20 до 50 градусов по профилю кулачка.

2. Для привода ГРМ с гидравлическими компенсаторами возникает необходимость оптимизации ступеней открытия и закрытия клапанов, на высоту ramпы влияют только предварительная просадка и лекаж при подъёме клапана.

3. Длину рампы сокращают, так как плохое наполнение ведёт к потере мощности, а запаздывание открытия выпускного клапана из-за высокой скорости горячих газов приводит к выплавлению седла и тарелки клапана.

4. Рампы привода ГРМ с гидравлическими компенсаторами для впускных клапанов выполняются обычно высотой от 0,05 до 0,1 мм и длиной от 5 до 10 градусов по профилю кулачка.

5. Те же величины для рампы выпускных клапанов составляют от 0,1 до 0,15 мм и от 8 до 15 градусов соответственно, при этом необходимо учитывать, что при максимальном числе оборотов скорость закрытия клапана не должна превышать 1м/с для исключения «прыжков» клапана или отрыва штока клапана.

Кривые перемещения клапана строятся проектировщиками с применением коммерческого программного обеспечения. Обычно вычисления основываются на применении метода (кусочной) сплайн-интерполяции, что позволяет существенно сократить количество вычислений. Смещение точек опоры можно ускорить протекание процесса; к тому же такие величины как подъём клапана, скорость и толчок (производной ускорения). При необходимости возможно провести анализ ускорения по Фурье, чтобы оценить пригодность клапанной пружины во всём диапазоне оборотов. Данное ПО даёт возможность кинематического расчёта как приводов с рычагами клапана, так и с плоскими толкателями, рассчитывать размеры, усилия пружин и Е-модулей. Результатом расчёта являются величины контактных напряжений, профиль кулачка, запас надёжности пружины.

Например, для толкателей с цилиндрическим торцом важны значения гидродинамических скоростей, смещения торца толкателя и моментов привода, поэтому расчёт этих величин производится отдельно с учётом особенностей конкретного применения и с целью оптимизации данных параметров.

В этом случае требуется расчёт одного подъёма клапана, с тем, чтобы потом провести адаптацию ко всему приводу. Такой порядок имеет смысл, так как каждый заказчик имеет опыт в соответствие с выпускаемыми им концепциями моторов (атмосферные – турбированные; бензиновые – дизельные и т.д.), подтверждённый испытаниями. Для обработки результатов желательно использовать параметры изменения подъёма клапана (с минимальной точностью 3 знака после запятой) относительно поворота кулачка, в качестве референсного на равном удалении. Для расчёта/измерения нового распредвала следует обязательно знать радиус шупа.

Чтобы избежать функциональных нарушений в работе гидравлических элементов, целесообразно применять фильтры с размером пор от 10 до 15 мкм, однако, общий объём частичек грязи величиной, превышающей 10 мкм, не должен быть больше, чем 50%.

Требования к чистоте:

1. Головка блока цилиндров: 5-8 мг/ на головку (после обработки и промывки).

2. Блок цилиндров: 6 мг/м² (площадь головки блока припл. 3-5 м²).

3. Корпус КПП 5-10 мг/на корпус.

Промывка сопрягаемых деталей: под давлением 500 бар; ультразвуком мощностью от 60 до 80 Ватт/л; чистка сжатым воздухом; поток всех промывочных средств должен проходить через специальные фильтры.

Остаточное загрязнение которое могут выдержать различные модели гидрокомпенсаторов отражено в рис. 2.



Рисунок 2. Допустимое остаточное загрязнение гидравлических толкателей в соответствии с нормами QN 5.07 A.

Для правильного позиционирования гидрокомпенсатора в алюминиевой головке блока цилиндров необходимо выполнить требования для посадочного отверстия. Поле допуска отверстия H7. Шероховатость поверхности Ra 0,8. Минимальная усадка (21°C) 25 мкм. Допуски формы в пределах половины допуска на диаметр. Материал AlSi6Cu4, AlSi8Cu3, AlSi9Cu4.

Так же необходимо учесть кривую перемещения клапана.

Рампа открытия:

1. Высота ramпы 0,05 мм.
2. Градиент ramпы 0,010 мм/градус поворота кулачка.

Рампа закрытия:

1. Высота ramпы 0,1-0,15 мм.
2. Градиент ramпы 0,010 мм/градус поворота кулачка.

Максимальное допустимое значение ускорения 100 мм/рад².

Время просадки обратного клапана гидротолкателя определяется по формуле:

$$t_0 = \frac{3S_A D_{т\ominus} I_f \rho_{\ominus}}{\Delta p J_{\ominus}^3 K}, \quad (1)$$

где: θ -температура; t_{θ} -время просадки; S_A -путь просадки; $D_{t\theta}$ -средний диаметр; l_f -длина зазора; ρ -плотность масла; ν_{θ} -вязкость масла; Δp -разница давлений; J_{θ} -ширина зазора; K -фактор коррекции.

Объём масла необходимый для корректной работы гидротолкателя определяется по формуле:

$$V = \frac{S_A}{t_{\theta}} = \frac{\Delta p J_{\theta}^3 K}{D_{t\theta} l_f 3 \rho \nu_{\theta}}, \quad (2)$$

где: θ -температура; t_{θ} -время просадки; S_A -путь просадки; $D_{t\theta}$ -средний диаметр; l_f -длина зазора; ρ -плотность масла; ν_{θ} -вязкость масла; Δp -разница давлений; J_{θ} -ширина зазора; K -фактор коррекции.

Для функционирования привода клапанов (особенно с точки зрения шумности ГРМ) крайне важно обеспечить быстрое установление давления масла в двигателе. Рекомендуемая величина давления в галерее головки блока цилиндров должна быть равна 1 бар через 3 секунды после запуска двигателя.

Рекомендуемые величины давления масла при использовании в конструкции гидравлических компенсаторов:

1. Максимальное давление на холодном двигателе – 6 бар.
2. Максимальное давление на прогретом двигателе на холостом ходу – 0,5 бар.
3. Давление масла на высоких оборотах прогретого двигателя – 2-4 бар.

Слишком низкое давление масла ведёт к снижению гидравлической жёсткости. Слишком высокое давление масла приводит к:

1. Увеличению расхода масла.
2. Повышаются требования к производительности масляного насоса.
3. Повышается вспениваемость масла.
4. Растут потери на трении в фазе компенсации.

Максимально допустимый уровень вспенивания масла на сегодняшний день это 7% при $n_{\max}$ «горячего» двигателя. Вспениваемость рассчитывается исходя из 1 бара абсолютного давления и 110°C температуры масла.

Возможные причины слишком высокой вспениваемости масла:

1. Слишком много масла в масляной ванне.
2. Слишком мало масла в масляной ванне.
3. Подсос воздуха вследствие не герметичности.
4. Недостаточно большой диаметр возвратных отверстий подачи масла.

5. Отсутствие или неудачная конструкция рикошетных пластин масляной ванны.

Разработанная модель гидравлического компенсатора применительно к ГРМ с нижневальным расположением распределительного вала представлена на рис. 3.

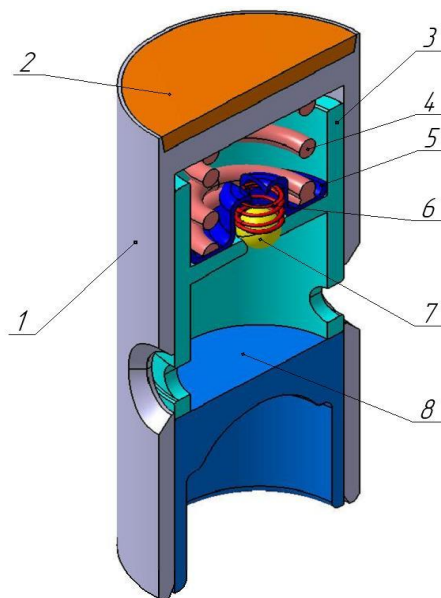


Рис. 3. Устройство гидрокомпенсатора, где : 1-корпус гидрокомпенсатора, 2- дистанционная шайба, 3-плунжер, 4- пружина плунжерной пары, 5 – чаша, 6- пружина клапана плунжера, 7- клапан плунжера, 8-станкан плунжера

Технические характеристики разработанной модели указаны в таблице.

Таблица 1

Характеристики гидрокомпенсатора

θ -температура °С	100
S_A -путь просадки, м	3×10^{-3}
$D_{\text{ср}}$ -средний диаметр, м	12×10^{-3}
l_f -длина зазора, м	15×10^{-4}
ρ -плотность масла, кг/м ³	905
ν_θ -вязкость масла, м ² /с	1×10^{-5}
Δp -разница давлений, Па	3×10^{-4}
J_θ -ширина зазора, м	0,0001
К-фактор коррекции	1,2

Объём масла необходимый для корректной работы гидротолкателя определяется по формуле, исходные данные берем из таблицы:

$$V = \frac{S_A}{t_\theta} = \frac{\Delta p J_\theta^3 K}{D_{t\theta} l_f 3 \rho \nu_\theta} \quad (3)$$
$$V = \frac{3 \times 10^{-4} \times 0,0001^3 \times 1,2}{12 \times 10^{-3} \times 15 \times 10^{-4} \times 3 \times 905 \times 10^{-5}} = 0,75 \times 10^{-9} \text{ л}$$

где: θ -температура; t_θ -время просадки; S_A -путь просадки; $D_{t\theta}$ -средний диаметр; l_f -длина зазора; ρ -плотность масла; ν_θ -вязкость масла; Δp -разница давлений; J_θ -ширина зазора; K -фактор коррекции.

Время просадки обратного клапана гидротолкателя определяется по формуле, исходные данные берем из таблицы 6.1:

$$t_0 = \frac{3 S_A D_{t\theta} l_f \rho \nu_\theta}{\Delta p J_\theta^3 K} \quad (4)$$
$$t_0 = \frac{3 \times 3 \times 10^{-3} \times 12 \times 10^{-3} \times 15 \times 10^{-4} \times 905 \times 10^{-5}}{3 \times 10^5 \times 10^{-15} \times 1,2} = 0,004 \text{ с}$$

где: t_θ -время просадки 0,2 мс; S_A -путь просадки – 3мм; $D_{t\theta}$ -средний диаметр = 12 ; l_f -длина зазора 1,5; ρ -плотность масла; ν_θ -вязкость масла; Δp -разница давлений 3 атм; J_θ -ширина зазора 10 микрон; K -фактор коррекции 0,5 - .

Результатом исследовательской работы является:

1. Разработана оригинальная конструкция гидрокомпенсатора для двигателей внутреннего сгорания с нижневальным расположением распределительного вала.
2. Получены формулы позволяющие рассчитать базовые параметры гидрокомпенсатора.
3. Разработаны технические требования к гидрокомпенсатору.
4. Определены технические требования к величине очистки масла и давлению масла в масляной системе.

Библиографический список

1. Драганов Б.Х., М.Г. Круглов, В.С. Обухова. Конструирование впускных и выпускных каналов двигателей внутреннего сгорания. - Киев: Вища школа, 1987. – 89 с.
2. Экснер Х., Фрейтаг Р., Гайс Д-р Х. Гидропривод. Основы и компоненты: Учебный курс по гидравлике. – Бош Рекрот АГ Сервис Автоматизация Дидактика, 64711 г. Эрбах, Германия, 2003. - 323 с.

-
3. Патрахальцев Н.Н. Повышение эффективности работы дизеля: Учебное пособие. – М.: Изд-во УДН, 1988. – 76 с.
 4. Попов Д.Н. Нестационарные гидромеханические процессы. – М.: Машиностроение, 1982. – 240 с.
 5. Работа дизелей в условиях эксплуатации: Справочник / А.К. Костин, Б.П. Пугачев, Ю.Ю. Кочинев. – Л.: Машиностроение, 1989. – 284 с.
 6. Рыбальчик В.С., Поляков С.В., Герасименко В.Ф. Теория поршневых двигателей. – М.: Изд-во Мин. обороны СССР, 10.10.55. – 349 с.
 7. Станиславский Л.В. Техническое диагностирование дизелей. – Киев-Донецк: Вища школа, 1983. – 136 с.
 8. Чайнов Н.Д., Заренбин В.Г., Иващенко Н.А. Тепломеханическая напряженность деталей двигателей. – М.: Машиностроение, 1977. – 152 с.
 9. Шароглазов Б.А., Фарафонов М.Ф., Клементьев В.В. Двигатели внутреннего сгорания // Теория, моделирование и расчёт процессов // Челябинск: Изд-во ЮУрГУ. – 2004. – 344 с.

УДК 51-74

Власов С.Н., Семочкин А.Ю. Разработка математической модели для определения температур нагревательного элемента термовакuumной установки

Development of mathematical model for determination of temperatures of the heating element of thermal vacuum installation

Власов Станислав Николаевич

Кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения,
Дмитровградский инженерно-технологический институт – филиал Национального исследовательского
ядерного университета «МИФИ»

Семочкин Алексей Юрьевич

Магистрант кафедры технологии машиностроения
Дмитровградский инженерно-технологический институт – филиал Национального исследовательского
ядерного университета «МИФИ»

Vlasov Stanislav Nikolaevitch,

Candidate of technical Sciences, associate Professor of engineering technology
Dimitrovgrad Engineering and Technological Institute of the National Research Nuclear University MEPhI
(Moscow Engineering Physics Institute)

Semochkin Aleksey Yurevich

Master's student of the Department of mechanical engineering technology
Dimitrovgrad Engineering and Technological Institute of the National Research Nuclear University MEPhI
(Moscow Engineering Physics Institute)

Аннотация. В статье произведена разработка математической модели нагрева тонкого стержня, имитирующего нагревательный элемент термовакuumной установки, а также диффузии и осаждения испарившегося материала и конденсации его на основе в виде покрытия.

Ключевые слова: вакуум, нагрев, покрытие, структура, испарение, диффузия, математическая модель.

Abstract: in the article developed a mathematical model for heating a thin rod simulating a heating element of a thermal vacuum installation, as well as diffusing and precipitating evaporated material and condensing it on the basis of a coating.

Key words: vacuum, heating, coating, structure, evaporation, diffusion, mathematical model.

Термовакuumное напыление является одним из наиболее универсальных методов получения плёночных структур самого различного назначения [1]. Этот метод давно и успешно используется в различных областях техники.

Широкое использование этого метода основывается на возможности проведения большинства необходимых технологических операций в контролируемых и «чистых» условиях, что позволяет использовать ряд известных соотношений геометрической оптики, кинетической теории газов, статистической физики, термодинамики и физики твёрдого тела для объяснения эффектов роста и структурных преобразований изготавливаемых тонкоплёночных структур [2].

Проблемой является достижение необходимого качества наносимых покрытий, обеспечивающего их использование при динамических, в том числе ударных, и

знакопеременных нагрузках и лишенных указанных недостатков (перегрева подложки, отсутствия ее коробления и высоких остаточных напряжений).

Целью исследования является разработка математической модели нагрева тонкого стержня, имитирующего нагревательный элемент термовакуумной установки, а также диффузии и осаждения испарившегося материала и конденсации его на основе в виде покрытия.

Для того чтобы определить температуру на поверхности нагревательном элементе необходимо задать краевые условия. Начальное условие определяется заданием закона распределения температуры в теле в начальный момент времени $u(x, 0) = f(x), 0 < x < l$. Значение температуры u в любой момент времени в начале проводника $c_1 u_t(0, t) = \lambda \sigma u_x(0, t), 0 < t < +\infty$ и в конце проводника $c_2 u_t(l, t) = \lambda \sigma u_x(l, t), 0 < t < +\infty$.

Задача построена при условии нагрева бесконечно тонкого проводника длиной l электрическим током с целью определения температуры на поверхности нагревательном элементе.

Для определения температуры $u(x, t)$ в нагревательном получаем краевую задачу:

$$u_t = \frac{\lambda}{c\rho} u_{xx} - \frac{\beta I^2 R}{c\rho\sigma}, 0 < x < l, 0 < t < +\infty, \quad (1)$$

$$c_1 u_t(0, t) = \lambda \sigma u_x(0, t), 0 < t < +\infty, \quad (2)$$

$$c_2 u_t(l, t) = \lambda \sigma u_x(l, t), 0 < t < +\infty, \quad (3)$$

$$u(x, 0) = f(x), 0 < x < l, \quad (4)$$

где c_1 и c_2 – теплоемкости клемм, λ – коэффициент теплопроводности материала стружки, c – удельная теплоемкость, ρ – плотность, I – сила тока, R – сопротивление единицы длины провода, σ – площадь поперечного сечения, p – периметр поперечного сечения стержня, α – коэффициент теплообмена между поверхностью стержня и окружающей средой, температура которой равна u_0 , β – коэффициент пропорциональности в формуле:

$$q = \beta I^2 R \Delta x, \quad (5)$$

Откуда

$$\beta = \frac{q}{I^2 R \Delta x} \quad (6)$$

Количество тепла, выделяемое током I в единицу времени в элементе $(x, x + \Delta x)$

провода.

Покрyтия элементов конструкций используют в различных технических приложениях. Надежность и прочность сцепления покрытия с основой определяется их диффузионной проницаемостью. Последняя зависит от уровня и характера распределения внутренних напряжений. Среди последних весомая роль принадлежит температурным и остаточным напряжениям. Диффузионная миграция точечных дефектов определяется первым инвариантом тензора напряжений различной физической природы. Компоненты тензора напряжений с позиции математического формализма описываются тензором второго ранга. В линейном пространстве выполняются законы тензорной алгебры. Физически это означает, что в линейной теории упругости внутренние напряжения различной природы не взаимодействуют друг с другом. Поэтому их совместное влияние определяется алгебраическим суммированием. Отсюда вытекает принципиальная возможность управления внутренними напряжениями для снижения диффузионной проницаемости покрытий на примере цилиндрических и сферических оболочек.

Диффузионная проницаемость оболочек определяется потоком точечных дефектов через внешнюю поверхность

$$\vec{j} = -D \frac{\partial c}{\partial r} \text{ при } r = R, \quad (7)$$

где D – коэффициент диффузии продуктов деления и примесей внедрения, R – внешний радиус оболочек. Распределение концентрации точечных дефектов находится из решения уравнения диффузии с учетом внутренних напряжений

$$\frac{1}{D} \frac{\partial C}{\partial t} = \Delta C + \frac{\nabla(C \nabla V)}{kT}, r_0 < r < R, \quad (8)$$

$$C(r, 0) = 0, C(r_0, t) = C_p, C(R, t) = 0 \quad (9)$$

V – энергия связи точечных дефектов с первым инвариантом тензора внутренних напряжений, r_0 и R – внутренний и внешний радиусы оболочек, C_p – равновесная концентрация точечных дефектов на внутренней поверхности оболочек, k – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура. Математические символы Δ и ∇ , а также значения V и C_p записываются для цилиндрической и сферической систем координат.

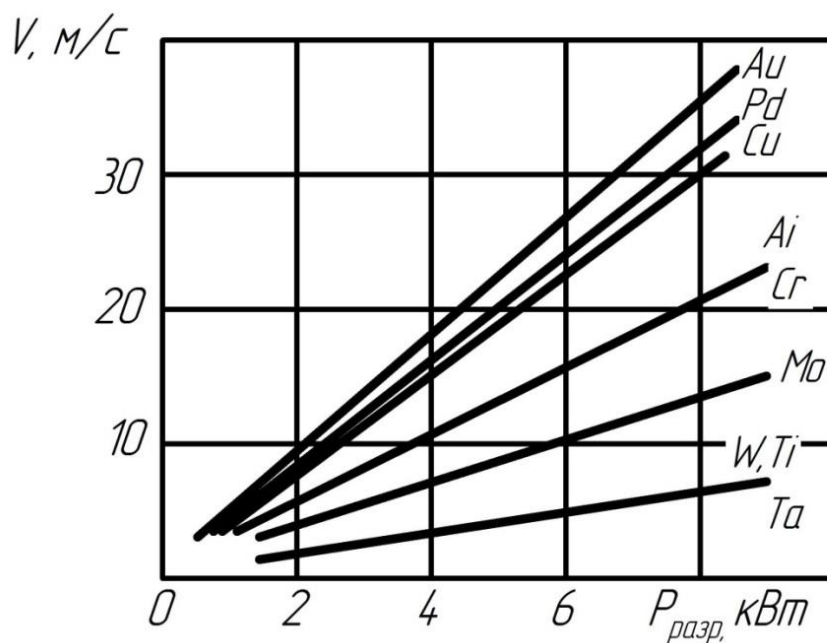


Рисунок 1. Зависимости скорости осаждения различных материалов от мощности разряда

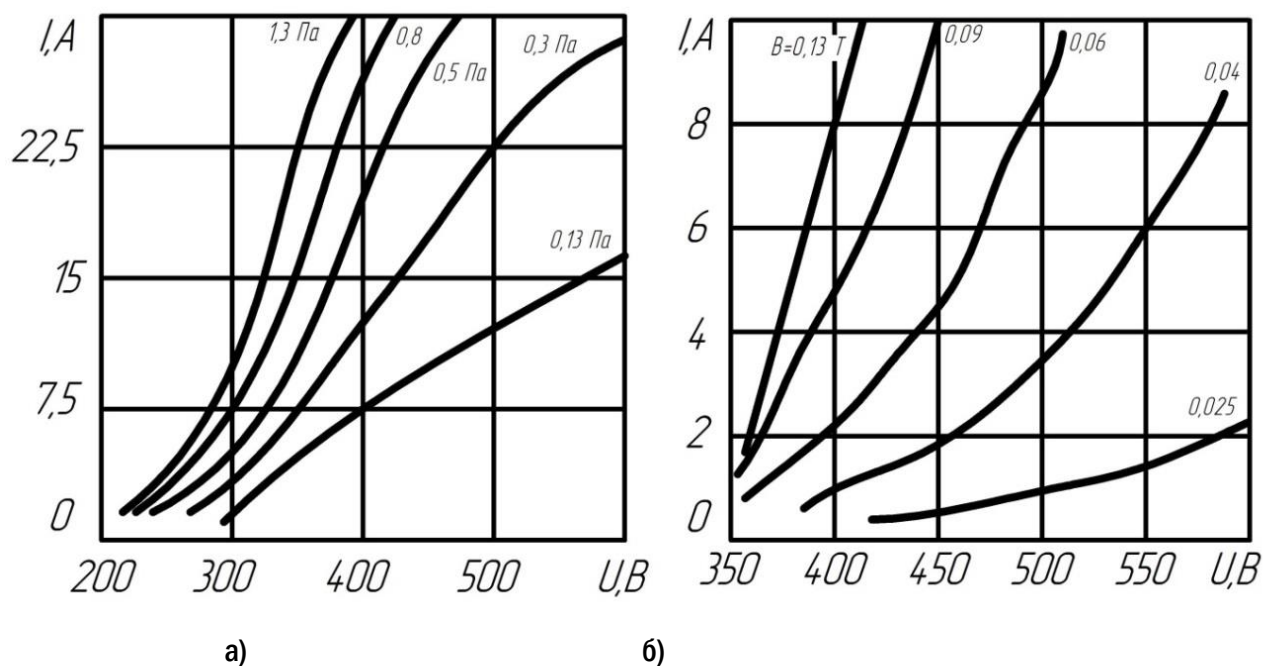


Рисунок 2. Вольтамперные характеристики систем напыления: с алюминиевой мишенью размером 40x60 см (а); с алюминиевой мишенью диаметром 160 мм (б)

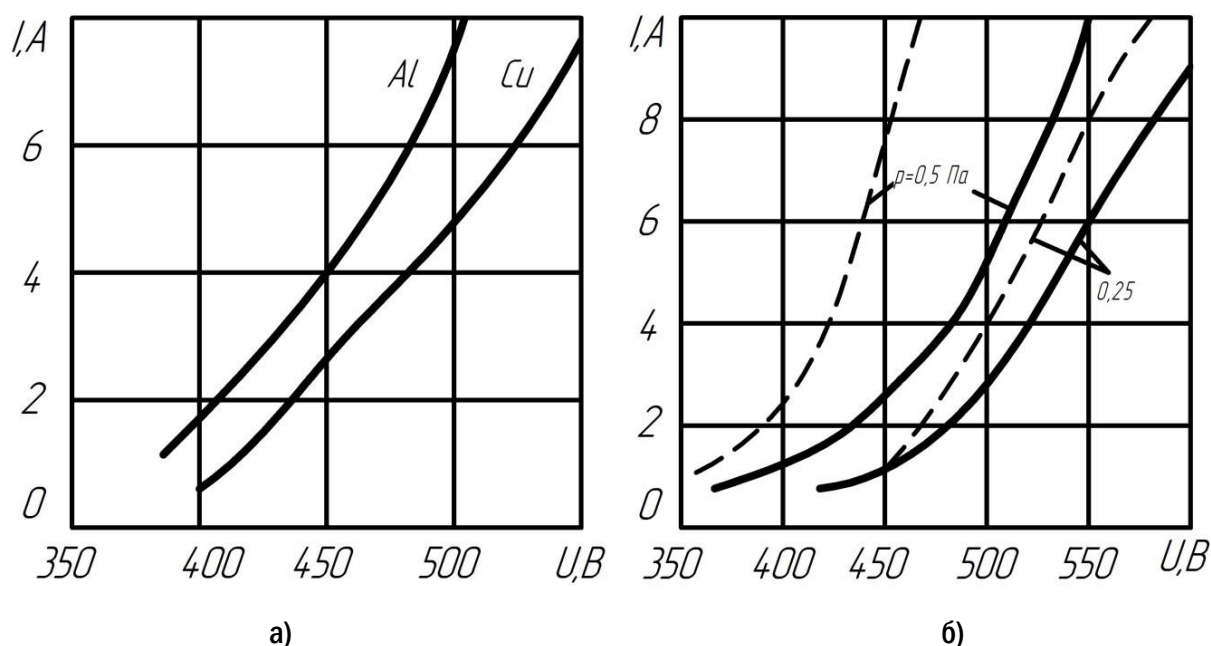


Рисунок 3. Вольтамперные характеристики системы напыления: с плоской мишенью из различных металлов при постоянном давлении 0,5 Па (а); с конической новой (сплошные линии) и эродированной (штриховые линии) мишенями давления (б)

Экспериментальная проверка полученной математической модели показала ее адекватность, которая оценивалась по критерию Фишера. В целом отклонение экспериментальных данных от значений, полученных по разработанной математической модели не превышает 20% [3].

Результаты исследования позволяют в дальнейшем адаптировать математическую модель в отношении получения улучшения качества наносимых покрытий.

Библиографический список

1. Панфилов Ю. Нанесение тонких пленок в вакууме // Технологии в электронной промышленности. – 2007. – №3. – С. 76-80.
2. Хрусталева В.А. Нанесение тонких пленок в вакууме методами термического испарения и ионно-плазменного распыления // М.: Машиностроение. Энциклопедия. Технологии, оборудование и системы управления в электронном машиностроении. – М.: Машиностроение. – 2000. – С. 208-213.
3. Власов С.Н. Повышение работоспособности режущего инструмента путем комбинированной упрочняющей обработки // М.: Машиностроение. – 2000. – 484 с.

УДК 621.793.1

Власов С.Н., Семочкин А.Ю. Тепловое состояние режущего инструмента с многослойным покрытием при точении

The thermal state of the cutting tool with a multilayer coating in turning

Власов Станислав Николаевич

Кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения,
Дмитровградский инженерно-технологический институт – филиал Национального исследовательского
ядерного университета «МИФИ»

Семочкин Алексей Юрьевич

Магистрант кафедры технологии машиностроения
Дмитровградский инженерно-технологический институт – филиал Национального исследовательского
ядерного университета «МИФИ»

Vlasov Stanislav Nikolaevitch,

Candidate of technical Sciences, associate Professor of engineering technology
Dimitrovgrad Engineering and Technological Institute of the National Research Nuclear University MEPhI
(Moscow Engineering Physics Institute)

Semochkin Aleksey Yurevich

Master's student of the Department of mechanical engineering technology
Dimitrovgrad Engineering and Technological Institute of the National Research Nuclear University MEPhI
(Moscow Engineering Physics Institute)

Аннотация: исследовано влияние износостойких покрытий с различными коэффициентами трения на параметры процесса резания при точении, в частности, силу резания, коэффициент утолщения стружки, температуру в зоне резания. Рассмотрено влияние различных покрытий на работоспособность режущего инструмента.

Ключевые слова: износостойкое покрытие, многослойное покрытие, параметры процесса резания при точении

Abstract: the influence of wear-resistant coatings with different friction coefficients on the parameters of the cutting process during turning, in particular, the cutting force, chip thickening coefficient, the temperature in the cutting zone. The influence of different coatings on the performance of the cutting tool is considered.

Keywords: wear-resistant coating, multilayer coating, cutting process parameters during turning

Нанесение износостойких покрытий методом катодно-ионной бомбардировки (КИБ) является эффективным способом повышения стойкости режущего инструмента, причем на различных технологических операциях обработки резанием эффективность инструмента с покрытиями неодинакова. В частности, при переходе от непрерывного к прерывистому резанию эффективность режущего инструмента с покрытиями снижается примерно в 2 раза. Потеря работоспособности твердосплавного режущего инструмента при прерывистом резании обусловлена разрушением покрытия в результате образования трещин [1-3]. Наиболее широкое применение в промышленности имеют однослойные одноэлементные покрытия, но их эффективность не всегда устраивает. Дальнейшим путем совершенствования инструмента с покрытием является многослойных покрытий, обладающих свойствами, отличными от свойств

каждого слоя в отдельности.

Износостойкие покрытия существенно влияют на различные параметры процесса резания и, как следствие, на параметры поверхностного слоя детали. Покрытия характеризуются низким коэффициентом трения, что существенно снижает длину пластического и упругого контакта стружки с деталью, силу резания и температуру в зоне обработки. Большинство современных износостойких покрытий имеют низкий коэффициент трения, к примеру, некоторые наноструктурные покрытия типа (TiN)_{0,5}B_{0,5}, Ti-Cr-B-N, TiN/AlN имеют коэффициент трения по стали 0,1-0,4. Нанесение износостойких покрытий с низким коэффициентом трения, например TiN, приводит к снижению таких параметров контактных процессов и стружкообразования, как длина пластического и упругого контакта стружки с передней и задней поверхностью инструмента, коэффициента усадки стружки K_L , сил, действующих на передней поверхности, коэффициентов трения, удельных нагрузок на задней поверхности. В то же время более интенсивное снижение длины контакта по передней поверхности по сравнению с силами резания приводит к росту удельных нормальных нагрузок и контактных напряжений, что ведет к повышению силовой напряженности режущего клина и снижению его пластической прочности.

В таблице 1 приведены данные о влиянии состава покрытия и скорости резания на температуру в зоне обработки, адаптированные из работ [1, с.87] и [2, с. 51].

Таблица 1

Влияние состава покрытия и скорости резания на показатели теплового состояния инструмента при обработке стали 30ХГСА

Инструментальный материал	ТП, °С	ТЗ, °С	ТЗР, °С	ТП, °С	ТЗ, °С	ТЗР, °С
	$v = 50$ м/мин			$v = 60$ м/мин		
P6M5K5	515	272	459	551	291	491
P6M5K5+TiN	476	202	425	510	216	448
P6M5K5+(Ti,Zr)N	446	217	402	469	232	433
P6M5K5+(Ti,Zr)CN	443	219	399	474	234	437
	$v = 80$ м/мин			$v = 120$ м/мин		
BK6	994	498	887	1148	567	1003
BK6+TiN	940	377	761	1104	415	878
BK6+(Ti,Mo)N	942	414	778	1133	447	928
BK6+(Ti,Mo)CN	916	376	754	1129	423	908
	$v = 100$ м/мин			$v = 140$ м/мин		
MK8	1065	504	957	1180	560	1043
MK8+TiN	989	401	891	1128	437	953
MK8+(Ti,Zr)N	942	437	859	1155	472	955
MK8+(Ti,Zr)CN	940	403	855	1160	447	923

Примечание: $S = 0,3$ мм/об; $t = 1$ мм, ТП, ТЗ, ТЗР – температура соответственно на передней, задней поверхности и в зоне резания.

Как видно из представленных данных, использование покрытий с меньшим коэффициентом трения приводит к снижению длины контакта и способствует некоторому повышению интенсивности итогового теплового потока, что также связано с увеличением скорости скольжения стружки по

передней поверхности, поэтому температура в зоне резания у пластин с покрытием сложного состава несколько меньше, чем при использовании покрытия TiN с меньшим коэффициентом трения при работе на низких скоростях резания.

С помощью оборудования, представленного на рисунке 1, можно контролировать силу резания посредством измерения величин перемещений державки резца с последующей тарировкой упругой системы державки на эталонном динамометре. Датчиком деформаций в данном случае является индуктивный измеритель микроперемещений модели «Микрон-02», подключенный посредством 10-разрядного аналого-цифрового преобразователя к ПЭВМ.

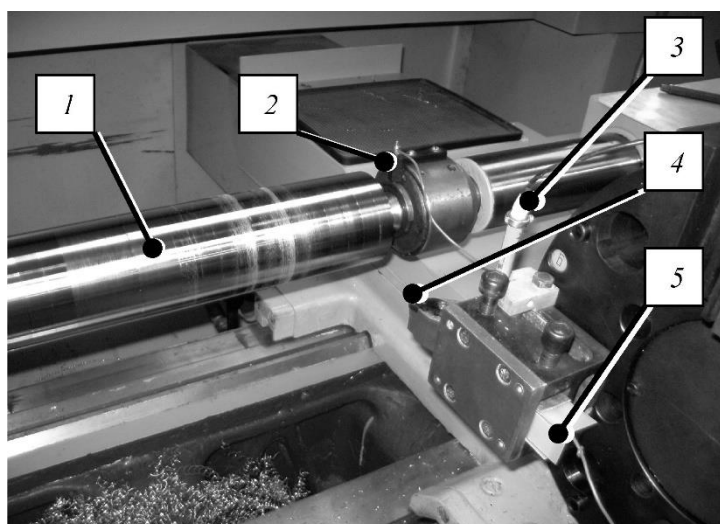


Рисунок 1. Рабочая зона станка:

1 – обрабатываемая заготовка; 2, 5 – клеммы естественной термопары;
3 – датчик измерения силы резания; 4 – резец

Для определения температуры резания измеряется термоЭДС естественной термопары заготовка-резец, образующейся в процессе резания. Разность потенциалов между токосъемником на неподвижном заднем центре и изолированной державкой резца нормализуется с помощью прецизионного широкополосного усилителя с $K_y = 100$. Усиленный сигнал поступает на второй 10-разрядный аналого-цифровой преобразователь и регистрируется с помощью программного обеспечения системы сбора данных на базе ПЭВМ.

Известно, что материал инструментальной основы и геометрия всех пластин совпадает, а материалы покрытий и, соответственно, коэффициенты трения различаются. Скорость резания v изменялась от 15 до 70 м/мин при подаче $S = 0,1$ мм/об и $S = 0,3$ мм/об. Глубина резания остается постоянной $t = 0,5$ мм, что соответствует чистовым режимам обработки. Усадка стружки определяется весовым способом. Ниже, на рисунке 2 и в таблице 2, представлен анализ литературных данных, полученных по результатам проведения данного эксперимента.

При использовании различных покрытий при прочих равных условиях значения силы резания при установившемся режиме отличаются на 30-40%, а значение температуры во всем диапазоне скоростей резания отличается примерно на 60°C, что в значительной степени будет влиять на формирование параметров поверхностного слоя детали и, в конечном итоге, на ее усталостную прочность.

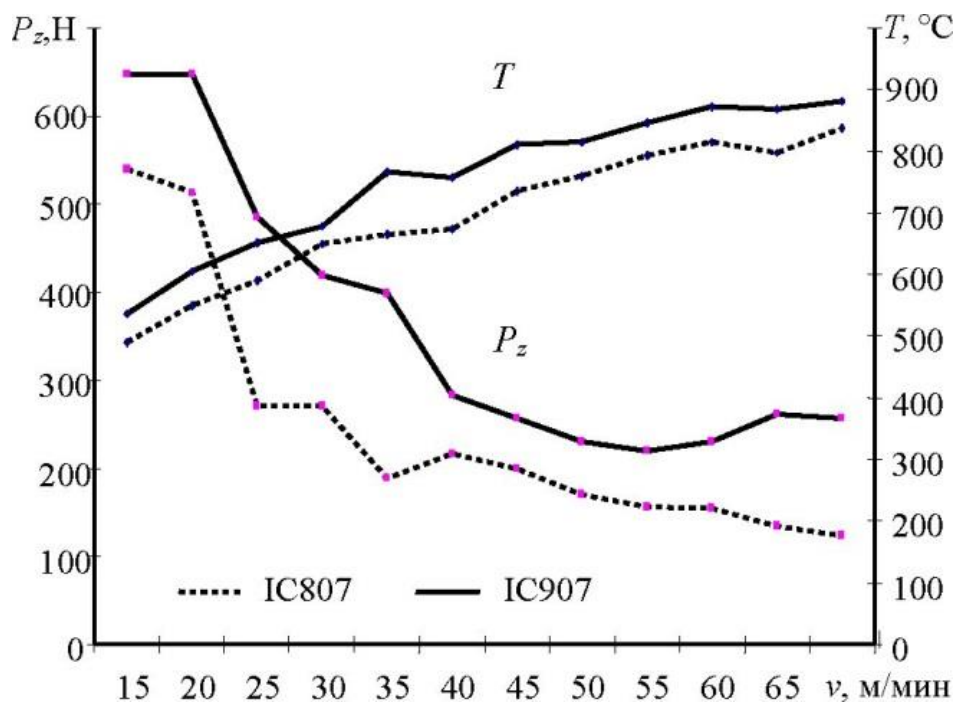


Рисунок 2. Зависимости силы и температуры резания

($S=0,1$ мм/об, $t=0,5$ мм)

В таблице 2 приведены значения различных параметров процесса резания в момент стабилизации процесса резания (по составляющей силы резания P_z).

Таблица 2

Результаты эксперимента

Марка пластин	$\gamma, ^\circ$	$\alpha, ^\circ$	$t, \text{мм}$	$S, \text{мм/об}$	$v_{\text{опт}}, \text{м/мин}$	$P_z, \text{Н}$	Усадка стружки	Угол условной плоскости сдвига, $^\circ$	Средний коэффициент трения	$R_a \text{ мкм}$
IC807	5	4	0,5	0,1	46	210	1,4	33,1	0,24	0,8
IC907	5	4	0,5	0,1	38	260	2,45	21,4	0,52	1,2
IC807	5	4	0,5	0,3	40	310	1,1	42,3	0,1	2,2
IC907	5	4	0,5	0,3	30	490	1,5	35,4	0,3	2,5

Как видно из полученных данных, значения среднего коэффициента трения, усадки стружки и угла условной плоскости сдвига отличаются значительно.

Коэффициент трения определялся по формуле С.С. Силина [3, с. 19]:

$$\mu = \frac{\cos \gamma + \sin \gamma - B(\cos \gamma - \sin \lambda)}{\cos \gamma - \sin \gamma + B(\cos \gamma + \sin \lambda)},$$

где γ – передний угол резца; $B = \operatorname{tg} \beta_1$ – величина, характеризующая степень пластических деформаций метала снимаемого припуска и поверхностного слоя обрабатываемой детали; β_1 – угол наклона условной плоскости сдвига.

При этом величина β_1 была определена из формулы И.А. Тиме [3, с. 12] с учетом известной из опыта величины поперечной усадки стружки k_a :

$$k_a = \frac{\cos(\beta_1 - \gamma)}{\sin \beta_1}.$$

Обобщая приведенные исследования, можно сделать следующие выводы.

1. Установление качественного и количественного влияния износостойких покрытий на оптимальную температуру резания, угол условной плоскости сдвига, силы резания и других параметров процесса резания позволит расчетным путем определять параметры качества поверхностного слоя и оптимальные режимы резания с учетом износостойких покрытий режущего инструмента.
2. Применение оптимальных режимов резания для инструментов с покрытиями будет способствовать повышению скорости резания и производительности обработки, так как износостойкие покрытия, обладая низким коэффициентом трения, снижают температуру резания, силы резания, способствуют увеличению угла условной плоскости сдвига стружки.
3. Использование износостойких покрытий, благоприятно влияющих на контактные параметры с точки зрения повышения оптимальных режимов резания, способствует возрастанию термомеханической напряженности режущего клина, появлению на его поверхности локальных вырывов инструментального материала, отслоению трещин и сколов, что говорит о необходимости проектирования специальной геометрии инструмента с упрочненной режущей кромкой.
4. Применение износостойких покрытий с низким коэффициентом трения целесообразнее на высоких скоростях резания.

Библиографический список

1. Силин С.С. Метод подобия при резании материалов / С.С. Силин. – М. : Машиностроение, 1979. – 152 с.
2. Табаков В.П. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями на основе сложных нитридов и карбонитридов титана / В.П. Табаков. – Ульяновск: УлГТУ, 1998. – 123 с.
3. Табаков В.П. С.Н. Власов. Комбинированная упрочняющая обработка режущего инструмента / В.П. Табаков, С.Н. Власов. – Димитровград: ДИТУД, 2003. – 124 с.

УДК 621.793.1

Власов С.Н., Семочкин А.Ю. Экспериментальная установка для термовакuumного напыления тонких пленок на цилиндрические детали

Experimental installation for thermal-vacuum removal of thin films on cylindrical details

Власов Станислав Николаевич

Кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения,
Димитровградский инженерно-технологический институт – филиал Национального исследовательского
ядерного университета «МИФИ»

Семочкин Алексей Юрьевич

Магистрант кафедры технологии машиностроения
Димитровградский инженерно-технологический институт – филиал Национального исследовательского
ядерного университета «МИФИ»

Vlasov Stanislav Nikolaevitch,
Candidate of technical Sciences, associate Professor of engineering technology
Dimitrovgrad Engineering and Technological Institute of the National Research Nuclear University MEPhI
(Moscow Engineering Physics Institute)

Semochkin Aleksey Yurevich
Master's student of the Department of mechanical engineering technology
Dimitrovgrad Engineering and Technological Institute of the National Research Nuclear University MEPhI
(Moscow Engineering Physics Institute)

Аннотация: в статье приведены примеры экспериментальной вакуумной установки для термовакuumного напыления тонких пленок цилиндрические детали. Расчет длительность откачки вакуумной системы, при вязкостном режиме течения газа, при молекулярно-вязкостном режиме течения газа и при постоянном газовой выделении и протекании.

Ключевые слова: композиционный материал, вакуумная металлизация, оборудование, напыление, установка, вакуумная система

Abstract: The article presents examples of an experimental vacuum setup for thermal vacuum deposition of thin films, cylindrical parts. Calculation of the duration of the evacuation of the vacuum system, with a viscous mode of gas flow, with a molecular-viscous mode of gas flow and with a constant gas evolution and leakage.

Keyword: composite material, vacuum metallization, equipment, sputtering, installation, vacuum system.

Течение газа в реальной вакуумной системе может иметь место только при наличии градиента концентрации соответствующего газа.

Приведенные выше закономерности позволяют рассматривать стационарные режимы течения газа, т. е. такие режимы, когда давление в каждой точке остается неизменным во времени, величина потока постоянна и режим течения газа одинаков на всем протяжении трубопровода. Это соответствует случаю, когда количество газа, удаляемого в единицу времени из вакуумной системы, равно количеству поступающего в нее газа или когда предельное давление в системе достигнуто и необходимо лишь его поддерживать [1].

Однако на практике часто приходится решать задачу откачки объема от начального давления до заданного конечного давления. В этом случае искомой или заданной величиной будет время, необходимое для достижения конечного давления.

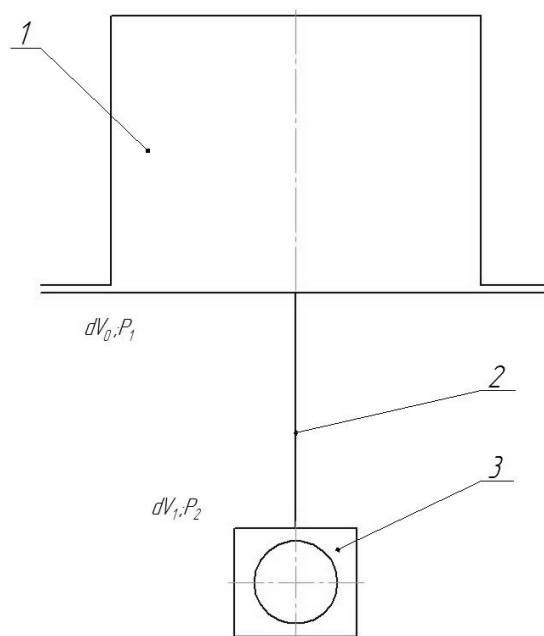


Рисунок 1. Простейшая вакуумная система

Рассматривать задачу определения длительности откачки будем на примере простейшей вакуумной системы (рис.1) в предположении, что соблюдаются условия квазистационарного режима течения газа.

Предположим, что из сосуда 1 с объемом V (рис. 1) за время dt откачивается объем газа dV при давлении p_1 и за это же время в результате газовой выделения и натекания извне в сосуд 1 поступает количество газа, равное dQ_{Σ} , а его объем равен dQ_{Σ}/p_1 . В результате давление газа в сосуде 1 изменится на величину dp_1 [6].

$$p_1(V - dV + \frac{dQ_{\Sigma}}{p_1})^n = (p_1 + dp_1)V^n, \quad (1)$$

где n — показатель политропы.

Использував только два первых члена ряда (из-за малости остальных), получим:

$$p_1 \left[V^n - nV^{n-1} \left(-dV + \frac{dQ_{\Sigma}}{p_1} \right) \right] = V^n p_1 + V^n dp_1 \quad (2)$$

Произведя необходимые преобразования и разделив обе части уравнения (2) на dt , получим:

$$\frac{dV}{dt} = -\frac{V}{np_1} \frac{dp_1}{dt} + \frac{1}{p_1} \frac{dQ_\Sigma}{dt} \quad (3)$$

Если учесть, что

$$\frac{dV}{dt} = S_0 \text{ и } \frac{V}{n} = \bar{V}$$

($\bar{V}$ – приведенный объем), то в общем случае можно записать:

$$S_0 = -\frac{\bar{V}}{p_1} \frac{dp_1}{dt} + \frac{1}{p_1} \frac{dQ_\Sigma}{dt}$$

или

$$S_0 = -\frac{\bar{V}}{p_1} \frac{dp_1}{dt} + \frac{1}{p_1} Q'_\Sigma \quad (4)$$

$$\frac{dQ_\Sigma}{dt} = Q'_\Sigma$$

Из (4) имеем:

$$dt = -\frac{\bar{V}}{S_0} \frac{dp_1}{p_1 - Q'_\Sigma/S_0}$$

Если положить, что $Q'_\Sigma/S_0 = \text{const}$, то после интегрирования получим:

$$t = \frac{\bar{V}}{S_0} \ln \frac{p'_1 - Q'_\Sigma/S_0}{p''_1 - Q'_\Sigma/S_0} \quad (5)$$

где p'_1 – начальное давление в откачиваемом объеме;

p''_1 – конечное давление в нем.

При весьма длительной откачке, т. е. при $t \rightarrow \infty$,

$$p''_1 = \frac{Q'_\Sigma}{S_0} = p_{01} \quad (6)$$

где p_{01} — наименьшее давление, которое может быть достигнуто в рабочей камере с постоянным потоком газа при весьма длительной откачке (предельное давление);

S_0 — эффективная быстрота откачки;

$$Q'_\Sigma = Q'_{\text{газ}} + Q'_{\text{нат}}, \quad (7)$$

где $Q'_{\text{газ}}$ — скорость газовыделения;

$Q'_{\text{нат}}$ — скорость натекания.

Длительность откачки вакуумной системы при вязкостном режиме течения газа

При вязкостном режиме течения газа газовыделение, натекание и предельное давление p_{01} не учитываются, так как давление в трубопроводе обычно значительно превышает величину Q'_Σ/S_n и удаляется лишь газ, сосредоточенный в откачиваемом объеме.

Проводимость при вязкостном режиме выражается формулами, которые могут быть приведены к виду.

$$U_B = \varepsilon \frac{p_1 + p_2}{2} \quad (8)$$

где ε — коэффициент, учитывающий влияние формы канала и вязкости газа на проводимость;

p_1 — давление на входе в трубопровод (рис.1);

p_2 — давление на входе в насос.

В этом случае значение эффективной быстроты откачки можно записать как

$$S_0 = \frac{S_n \varepsilon \frac{p_1 + p_2}{2}}{S_n + \varepsilon \frac{p_1 + p_2}{2}} \quad (9)$$

Учитывая, что всегда количество откачиваемого газа в единицу времени Q' равно:

$$Q' = p_1 S_0$$

$$Q' = -\frac{d}{dt}(p_1 \bar{V}) = -\bar{V} \frac{dp_1}{dt}$$

получаем уравнение

$$p_1 \frac{S_n \varepsilon^{\frac{p_1+p_2}{2}}}{S_n + \varepsilon^{\frac{p_1+p_2}{2}}} = -\bar{V} \frac{dp_1}{dt} \quad (10)$$

где $\bar{V} = V/n$ – приведенный объем;

V – объем откачиваемого сосуда;

n – показатель политропы, для вязкостного режима выбирается в пределах от 1 до κ (показатель-адиабаты).

Так как количество газа Q' , удаляемого в единицу времени из объема $\bar{V}$, равно количеству газа, откачиваемого насосом, то

$$Q' = -\bar{V} \frac{dp_1}{dt} = p_2 S_n$$

и

$$p_2 = -\frac{\bar{V}}{S_n} \frac{dp_1}{dt} \quad (11)$$

После подстановки в уравнение (10) значение p_2 из (11) и соответствующих преобразований получим:

$$-B\left(\frac{dp_1}{dt}\right)^2 + C \frac{dp_1}{dt} + p_1^2 = 0 \quad (12)$$

$$B = \left(\frac{\bar{V}}{S_n}\right)^2;$$

$$C = \frac{2\bar{V}}{\varepsilon}$$

Решив уравнение (12) относительно dp_1/dt и отбросив отрицательный корень ($dp/dt < 0$), получим:

$$dt = dp_1 \frac{C + \sqrt{C^2 + 4Bp_1^2}}{-4Bp_1^2}$$

и после интегрирования

$$t = \frac{C}{2p_1} + B^{1/2} \left\{ \frac{\sqrt{\frac{C^2}{4B} + p_1^2}}{p_1} - \ln \left[p_1 \sqrt{\frac{C^2}{4B} + p_1} \right] \right\} + \text{const.}$$

Обозначим:

$$\frac{C^2}{4B} = \left(\frac{2\bar{V}}{\varepsilon} \right)^2 \left(\frac{S_H}{2\bar{V}} \right)^2 = \left(\frac{S_H}{\varepsilon} \right)^2 = F^2$$

и

$$\sqrt{(F^2 + p_1^2)} = N \quad (13)$$

Тогда

$$t = \frac{C}{2p_1} + B^{1/2} \left[\frac{N}{p_1} - \ln(N + p_1) \right] + \text{const.} \quad (14)$$

Из начальных условий находим значение постоянной интегрирования:

$$\text{const} = B^{1/2} \left[\ln(N' + p_1') + \frac{N'}{p_1'} \right] - \frac{C}{2p_1'} \quad (15)$$

где p_1' – начальное давление в откачиваемом объеме (при $t = 0$);

N' – значение функций (3.13) при p_1'

Наряду с формулой (3.14) при проектных расчетах вакуумных систем используют более простую, приближенную формулу определения времени откачки, полагая при этом, что $Q'_\Sigma/S_0 = p_{01} - p_1''$ является величиной постоянной, а $U \gg S_H$, т. е. $S_0 = S_H$. [3]. Тогда из уравнения (5) следует:

$$t = \frac{\bar{V}}{S_H} \ln \frac{p_1'}{p_1''} = 2,3 \frac{\bar{V}}{S_H} \lg \frac{p_1'}{p_1''} \text{ с,} \quad (16)$$

где $\bar{V} = V/n$ – приведенный объем;

n – показатель политропы, обычно принимаемый равным k ;

V – откачиваемый объем;

S_H – быстрота действия насоса;

p'_1 – начальное давление;

p''_1 – конечное давление.

Если быстрота действия насоса существенно меняется при изменении давления, разбивают диапазон давлений, получаемых при откачке, на / частей, внутри которых считают S_n постоянным. Для каждой части производится расчет времени откачки по формуле (14). Общее время откачки будет равно:

$$t_{\text{общ.}} = \sum_{i=0}^{i=l} t_i \quad (17)$$

Длительность откачки вакуумной системы при молекулярно-вязкостном режиме течения газа

Выражения, характеризующие длительность откачки при молекулярно-вязкостном режиме течения газа, в общем виде получаются настолько громоздкими, что производить с их помощью инженерные расчеты нецелесообразно.[4]

При значении проводимости U , гораздо большем быстроты действия насоса S_n , рекомендуется пользоваться формулой (16).

В случае, если эффективная быстрота откачки S_0 существенно меняется, диапазон давлений, соответствующий молекулярно-вязкостному режиму, разбивают на участки, внутри которых считают S_0 постоянным, и определяют длительность откачки для каждого из участков по уравнению (16), заменяя в нем S_n на S_0 и суммируя эти времена в соответствии с (17).

Длительность откачки вакуумной системы при постоянном газовыделении и натекании.

При постоянном газовыделении и натекании действительна формула (5), преобразовав которую получим:

$$t = 2,303 \frac{V}{S_0} \lg \frac{p'_1 - p_{01}}{p''_1 - p_{01}}, \quad \text{с}, \quad (18)$$

где V – откачиваемый объем (при молекулярном режиме течения процесс изменения состояния газа считаем изотермическим: $n = 1$);

S_0 – эффективная быстрота откачки объема;

p'_1 – давление в начале рассматриваемого интервала откачки ($t = 0$);

p''_1 – давление в конце рассматриваемого интервала откачки;

$p_{01} = Q'_\Sigma / S_0$ – наименьшее давление, которое может быть достигнуто в системе;

Q'_Σ – определяется по уравнению (7).

Следует отметить, что уравнение (18) действительно

лишь при постоянном значении эффективной быстроты откачки.

Однако уравнением (18) часто пользуются и при переменной эффективной скорости откачки. При этом делят период откачки на несколько частей, внутри каждой из которых S_{oi} считают постоянной величиной, и тогда общее время откачки равно:

$$t_{\text{общ.}} = \sum_{i=1}^l \frac{V}{S_{oi}} \ln \frac{p_1^i - p_{01}}{p_1^{i+1} - p_{01}} \quad (19)$$

где i – число частей, на которое разбит период откачки;

S_{oi} – эффективная скорость откачки на i -й части;

p_1^i – давление в откачиваемом объеме в начале i -й части периода откачки;

p_1^{l+1} – давление в откачиваемом объеме в конце i -й части периода откачки.

Значение предельного давления p_{01} следует учитывать лишь в нескольких последних слагаемых, для которых

$$p_i < 10 p_{01} \quad (20)$$

Уравнение (18) учитывает влияние газовыделения и натекания на длительность процесса откачки вакуумной системы. При этом предполагается, что конечное давление в откачиваемом объеме существенно больше предельного давления p_{01} определяемого выражением

$$p_{01} = \frac{Q'_\Sigma}{S_0} \quad (21)$$

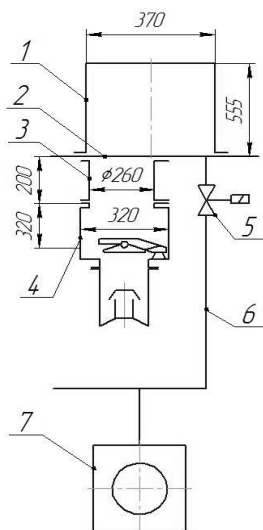


Рисунок 2. Вакуумная система предварительного разрежения

1 – колпак (рабочий объем); 2 – плита; 3 – соединительный патрубок;
4 – затвор высоковакуумного агрегата; 5 – электромагнитный клапан; 6 – трубопровод системы предварительного разрежения; 7 – механический вакуумный насос.

Рассчитаем длительность откачки рабочего объема технологической установки от атмосферного давления $p = 1,01 \cdot 10^5$ Па до $p = 5,32$ Па = $4 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст.

Размеры откачиваемого объема и вакуумной магистрали предварительного разрежения указаны на (рис. 2).

Предварительная откачка рабочего объема осуществляется механическим вакуумным насосом ВН-2МГ.

Суммарное газовыделение со стенок вакуумной системы примем равным $Q' = 2,43 \times 10^{-4}$ м·Па/с и постоянным во времени, так как предварительная откачка кратковременна.

1. Определяем границы режимов течения газа в трубопроводе предварительного разрежения.

а) Граница между вязкостным и молекулярно-вязкостным режимами

$$P_{\text{в.м.в}} = \frac{1,33}{3,2 \cdot 10^{-2}} = 41,6 \text{ Па.}$$

б) Граница между вязкостным и молекулярно-вязкостным и молекулярным режимами:

$$P_{\text{в.м.в}} = \frac{0,02}{3,2 \cdot 10^{-2}} = 0,624 \text{ Па.}$$

Рассчитываем длительность откачки в диапазоне давлений от атмосферного до $1,33 \cdot 10^2$ Па = 1 мм рт. ст. В этом диапазоне быстрота действия насоса ВН-2МГ постоянна и равна $S_n = 5,8$ л/с (рис. 2), а проводимость трубопровода гораздо больше быстроты действия насоса. Поэтому время откачки объема от атмосферы до $1,33 \cdot 10^2$ Па подсчитываем по формуле (16).

а) Откачиваемый объем состоит из объемов колпака / , соединительного патрубка 3 и корпуса затвора 4:

$$\begin{aligned} V_{\text{общ}} &= V_{\text{колп}} + V_{\text{патр}} + V_{\text{затв}} = \\ &= \frac{\pi}{4} (370^2 \cdot 555 + 260^2 \cdot 200 + 320^2 \cdot 320) 10^6 = 96 \text{ л} = 96 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \end{aligned}$$

б) Приведенный объем V в предположении, что показатель политропы $n = 1,2$ (для воздуха), будет:

$$\bar{V} \frac{96 \cdot 10^{-3}}{1,2} = 80 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

в) Найдем время откачки [2].

$$t_{1,0,1} \cdot 10^5 \rightarrow 1,33 \cdot 10^2 = 2,3 \frac{80}{5,8} \lg \frac{1,01 \cdot 10^5}{1,33 \cdot 10^2} = 92 \text{ с.}$$

Изобретение относится к устройству для термовакuumного напыления, подходящему для выполнения соответствующей обработки, в ходе которой обрабатываемый объект нагревают в технологической камере, а также вызывают испарение металлического испаряющегося материала в испарительной камере, и это приводит к осаждению атомов испарившегося металла на поверхность обрабатываемого объекта, имеющего заранее определенную температуру, и сцеплению этих атомов с упомянутой поверхностью за счет адгезии, в результате чего возникает металлическая пленка; и в ходе которого, кроме того, если обрабатываемый объект имеет кристаллическую структуру, это приводит к диффузии атомов металла по межзеренным границам одновременно с их сцеплением за счет адгезии с поверхностью обрабатываемого объекта рис.3.[5].

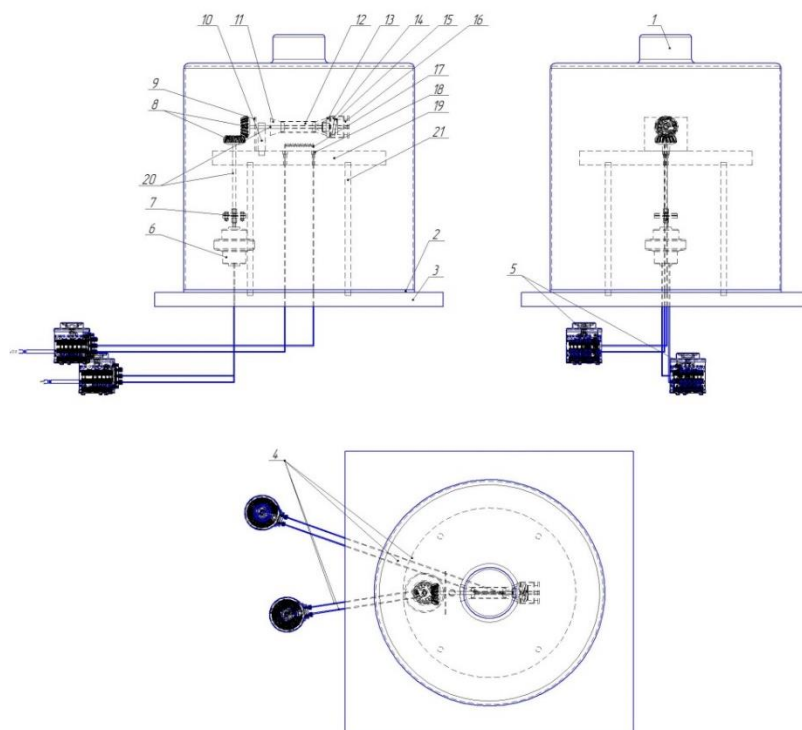


Рисунок 3. Экспериментальная установка для термовакuumного напыления тонких пленок: 1—купол; 2—силиконовая прокладка; 3—плита; 4—питающие провода; 5—ЛАТР; 6—электродвигатель; 7—муфта соединительная; 8—зубчатые колеса; 9—экран; 10—опора; 11—конус; 12—заготовка; 13—прижим; 14—корпус; 15—прижимная шайба; 16—фиксирующая гайка; 17—металлический испаряющийся материал; 18—фиксирующая гайка; 19—зажим; 20—вал; 21—стойка

Устройство для термовакuumной обработки имеет вакуумную камеру, накрытую куполом 1, выполненную с возможностью поддержания заранее определенного давления, давление в которой можно снизить до заранее определенного уровня (например, $1 \cdot 10^{-5}$ Па) и удерживать на этом уровне при помощи средства вакуумирования, такого как турбомолекулярный насос, крионасос, насос с направляющим аппаратом и т.п. Обрабатываемая деталь и металлический испаряющийся материал 17, которые должны быть выбраны подходящим образом в зависимости от требуемого технологического процесса, расположены, соответственно.

Заготовка закрепляется между двумя конусами 11. Один из них неподвижен, второй является съёмным с быстросъёмным прижимным устройством, изготовленного по образцу зажимных устройств фирмы «УХИНГ». Оно состоит из прижима 13, корпуса 14, прижимной шайбы 15 и фиксирующей гайки 16. За счет короткого поворота фиксирующей гайки заготовка прижимается максимально быстро, что позволяет уменьшить время на установку детали. Заготовка во время термовакuumного напыления должна вращаться. Вращение передается через ЛАТР 5, которые регулирует обороты коллекторного электродвигателя 6. От электродвигателя через соединительную муфту 7, через вал 20 которые закреплен на опоре 10, передается вращение на зубчатые колеса 8, через них передается вращение заготовке. Зубчатые колеса имеют экран 9, которые служит защитой от нагрева при термовакuumной обработке. Верхняя часть установки стоит на четырех стойках 21.

В установке имеются 2 ЛАТР, один из них регулирует подачу мощности на электродвигателе, другой питание металлический испаряющийся материал 17, который имеет форму спирали и установлен в зажимы 19, на которые подается питание через провода 4, Установке собрана на плите 3, на которую одевается изоляция в виде силиконовой прокладки 2, на которую сверху одевается купол 1, для достижения нужной глубины вакуумирования.

Принцип работы зависит от материала заготовки и напыляемого материала.

Металлический испаряющийся материал может быть алюминий, нитрид титана, вольфрам, медь и т.д. Давление в емкости понижают до заранее определенного уровня при помощи вакуумного насоса или тому подобного, и емкость изолируют. После чего подается питание на электродвигатель для вращения заготовки и на спираль для ее нагрева в закрытой емкости.

Как только нагрелась спираль, металл испаряется, в результате чего возникает атмосфера металлических паров внутри герметично закрытой емкости. Атомы металла из атмосферы металлических паров сцепляются за счет адгезии с заготовкой. После

нанесения покрытия деталь демонтируется, отдается на испытания, снимаются нужные показатели для работы рис.4.



Рисунок 4. Деталь после напыления внутренней цилиндрической поверхности

Установку можно использовать для определения физико-механических свойств композиционных изделий, получения предварительных заключений о работоспособности изделий, для модернизации существующего оборудования заменой деталей на изготовленные из углепластиков.

Библиографический список

1. Ю.В. Липин, А.В. Рогачев, С.С. Сидорский, В.В. Харитонов. Технология вакуумной металлизации полимерных материалов. —Гомель: Гомельский отдел. Белорус. инж. технологич. академии, 1994. —206 с.
2. Вакуумная техника: Справочник / Е.С. Фролов, В.Е. Минайчев, А.Т. Александрова, и др.: Под общ. ред. Е.С. Фролова, В.Е. Минайчева. - М.: Машиностроение, 1992. - 480 с.
3. Антоненко С.В. Технология тонких пленок. М.: МИФИ, 2008. 104 с.
4. Данилин Б.С. Вакуумное нанесение тонких пленок. Изд-во "Энергия", 1967.
5. Механические вакуумные насосы/Е. С. Фролов, И. В. Автономова, В. И. Васильев и др. — М.: Машиностроение, 1989. — 288 с: ил.
6. Данилин Б. С. Вакуум и его применение. М.: ТрудРезервИздат., 1958.- 89 с.

УДК 62

Свириденко М.А., Светлаков Д.О. Методы отчистки хрома перед напылением

Methods for cleaning chrome before spraying

Свириденко Мария Андреевна,

Магистрант

Томский университет систем управления и радиоэлектроники

Светлаков Дмитрий Олегович,

Начальник лаборатории

научно-производственный центр «Полюс» Россия, г Томск

Научный руководитель,

Сахаров Ю. В.,

кандидат технических наук, доцент, Томский университет систем управления и радиоэлектроники

Sviridenko Maria Andreevna,

Master student

Tomsk University of Systems control and electronics

Svetlakov Dmitriy Olegovich,

Laboratory boss

Research and Production Center "Polyus" Russia, Tomsk

Scientific adviser: Sakharov Yu.,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Tomsk University of Control Systems and Radioelectronics

Аннотация. Рассмотрены методы очистки хрома перед напылением: химической и плазменной очистки. Состояние поверхности подложки в свою очередь зависит от условий ее предварительной обработки.

Ключевые слова: Стекло, хром, химическая очистка, плазменная очистка

Abstract. Methods for cleaning chromium before sputtering are considered: chemical and plasma cleaning. The state of the surface of the substrate, in turn, depends on the conditions of its pretreatment.

Keywords: glass, chromium, chemical cleaning, plasma cleaning

Отчистка поверхности проводится для удаления загрязнений с поверхности, так как загрязнения влияют на равномерность пленки и адгезию, что в последующем плохо влияет на воспроизводимость фоторезиста. Поверхность пленки должна быть отчищена до 14 класса точности. Образы будут подвергаться плазменной и химической отчисткам, но для начала разберем все для ознакомления с ними.

Вакуумно-плазменные технологии используются для нанесения тонких функциональных покрытий на различные материалы (металлы, стекло, полимеры и др.). Свойства таких покрытий зависят как от параметров нанесения, так и от состояния поверхности подложки.

Состояние поверхности подложки в свою очередь зависит от условий ее предварительной обработки. Для повышения качества наносимых покрытий необходимо удалить имеющуюся на подложке пленку загрязнений, то есть очистить поверхность. Вид очистки зависит от материала подложки, количества и состава поверхностных загрязнений. В соответствии с последовательностью и характером проведения очистки различают: грубую и тонкую механическую очистку; грубую и тонкую химическую очистку; термообработку на воздухе и в вакууме; тонкую очистку и активацию поверхности в вакууме с помощью различных физических воздействий.

Перед нанесением пленки на стекло предметное СП-7102 (рисунок 1) с габаритными размерами 26*76*1 мм была проведена очистка сначала химическая, после плазменная.



Рисунок 1. Стекло предметное СП-7102

Для подбора наилучшего результата исследовали 2 вида химической отчистки:

- В соотношении 1:1:4, в течение 20 минут стекло выдержали в растворе: 25мл NH_3 +25мл H_2O_2 +100мл H_2O .

- В соотношении 1:1:5, в течение 15 минут стекло выдержали в растворе:

25мл HCl +25мл H_2O_2 +125мл H_2O .

После обработки стекол в данных растворах они подвергались промывки в дистиллированной воде, что делается для устранения остатков химического вещества, что может плохо сказаться на адгезии пленки. Индикатором качества отмывки является лакмусовая бумага. Т.е. берем стекло, опускаем его в дистиллированную воду, полощем, вынимаем стекло, в воду опускаем индикатор, если изменил цвет – в воде есть остатки химии, меняем воду, повторяем до тех пор, пока в воде практически не будет химии, в идеале – совсем.

После напыления пленок на стекло, можно сделать вывод что, оба метода химической отчистки повели себя хорошо и их можно применять для дальнейшей очистки подложки перед напылением.

После данное стекло подвергалось обработке плазмой на установке плазменной отчистки V6-G.(рисунок 2) На практике для вышеперечисленных применений чаще используются камерные системы с уровнем рабочего давления ниже атмосферного, как и что необходимо для обеспечения длины свободного пробега заряженных частиц, достаточной для ударной ионизации. Таким образом, данный тип плазмы является вакуумным. Ионизация рабочего газа внутри камеры происходит под воздействием переменного электромагнитного поля. Состояние плазмы является динамическим равновесием между этими двумя процессами. Значительное число частиц в плазме составляют нейтральные атомы и молекулы. Концентрация заряженных частиц в камере определяется прежде всего частотой переменного поля: чем выше частота, тем больше частиц. Поскольку эффективность очистки определяется именно степенью ионизации, за счет использования высокой частоты можно обеспечить необходимый результат даже при меньшей мощности генератора. Частота генерации в системах плазменной очистки, применяемых в промышленности, лежит в широком диапазоне: от десятков килогерц до СВЧ. Микроволновая плазма больше подходит для очистки полупроводниковых кристаллов, когда зачастую бывает необходимо обеспечить мягкое воздействие, не разрушающее тонкую структуру изделий.

Благодаря наличию в данной системе массового расходомера рабочих газов, можно производить смену газовых бамонов с различным давлением, а PLC-контроллер обеспечивает возможность программирования и хранения режимов работы, а так же безопасность рабочего процесса.



Рисунок 2. Установка плазменной отчистки V6-G

Отчистка происходила при мощности 300 Вт, рабочее давление 16 Па, напускаемый газ аргон, расход газа 4мл/мин. Стекла выдерживались разное время:

- 8 минут в 2 цикла по 4 минуты;
- 16 минут в 2 цикла по 8 минут

Лучшую равномерность пленки показали при отчистки, когда стекла выдерживались 8 минут в 2 цикла по 4 минуты. Так же стоит отметить, что срок плазменной отчистки очень мал, поэтому сразу после произведенной отчистки на стекло нужно производить напыление, для наилучшего результата.

В заключение можно сказать, что при сочетании плазменной и химической отчистки напыление хрома имеет хорошую адгезию и равномерность пленки.

Библиографический список

- 1 The International Technology Roadmap for Semiconductors [Электронный ресурс]. – Режим допуска: <http://www.itrs2.net> (дата обращения 06.06.2018).
- 2 Wayne, W. / Modern VLSI Design: IP-Based Design/ W. Wayne/ - Tokyo: Prentice Hall, 2009. - 631 pp.

Электронное научное издание

Техника, информационные технологии и инженерия: современные научные исследования и разработки

сборник научных трудов по материалам I Международной научно-практической конференции

30 мая 2019 г.

По вопросам и замечаниям к изданию, а также предложениям к сотрудничеству
обращаться по электронной почте mail@scipro.ru

Подготовлено с авторских оригиналов



ISBN 978-0-359-70970-0

90000



Формат 60x84/16. Усл. печ. Л 2,5. Тираж 100 экз.

Lulu Press, Inc. 627 Davis Drive Suite 300

Morrisville, NC 27560

Издательство НОО Профессиональная наука

Нижний Новгород, ул. М. Горького, 4/2, 4 этаж, офис №1