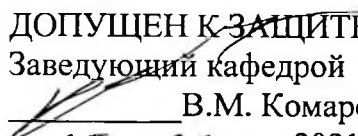


БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ


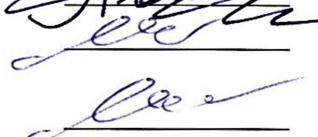
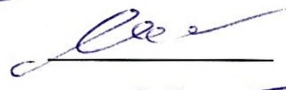
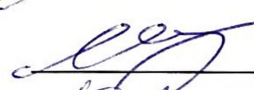
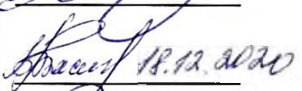
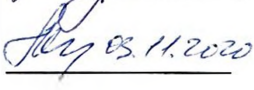
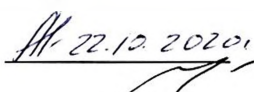
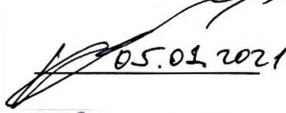
ФАКУЛЬТЕТ ИНЖЕНЕРНО - ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
КАФЕДРА ВАКУУМНАЯ И КОМПРЕССОРНАЯ ТЕХНИКА

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой

В.М. Комаровская
« 05 » 01 2021 г.

**РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВАКУУМНОЙ КАМЕРЫ ДЛЯ
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПРОЦЕССОВ ПЛАЗМЕННОЙ ХИМИКО-
ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

Специальность 1-36 20 04 «Вакуумная и компрессорная техника»

Обучающийся группы 10904116		А.А. Опиок
Руководитель		М.Н. Босяков
Консультанты		
по разделу технологическому		М.Н. Босяков
по разделу конструкторскому		М.Н. Босяков
по разделу экономическому	 18.12.2020	Л.В. Бутор
по разделу автоматизации	 05.11.2020	А.Л. Савченко
по разделу охраны труда	 22.12.2020	Г.Л. Автушко
Ответственный за нормоконтроль	 05.01.2021	В.М. Комаровская
Объем проекта:		
расчетно-пояснительная записка -	128	страниц;
графическая часть -	9	листов;
магнитные (цифровые) носители -	-	единиц.

Минск 2021

РЕФЕРАТ

Работа 127 с., 40 рис., 25 табл., 81 источников.

ВАКУУМНАЯ СИСТЕМА, УСТАНОВКА ПЛАЗМЕННОЙ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ, ОТКАЧНЫЕ АГРЕГАТЫ

Объектом исследования являются вакуумные системы установок плазменной химико-термической обработки – ионного азотирования и ионной цементации.

Цель работы – разработка методики проектирования вакуумной системы установок плазменной химико-термической обработки, обоснование методики выбора откачных средств для обеспечения работы плазменного оборудования в широком диапазоне давлений и расходов активных газов.

Для достижения поставленной цели в работе решены следующие задачи:

- рассмотрены особенности работы установок плазменной химико-термической обработки в части реализации режимов обработки по расходам газа и диапазонам рабочих давлений;

- рассчитаны проводимости трубопроводов и эффективные скорости откачки систем «вакуумная магистраль-откачной агрегат» для двух типов откачных агрегатов;

- экспериментально определена зависимость эффективной скорости откачки агрегата АВР-150 от частоты электродвигателя насоса НВД-600;

- рассмотрена методика использования откачных агрегатов различной производительности для комплектования ими установок плазменной химико-термической обработки с различными диапазонами вариации расходов рабочих газов и давлений в камере;

- обоснование методики выбора откачных средств для обеспечения работы плазменного оборудования в широком диапазоне давлений и расходов активных газов.

Научная и практическая значимость результатов исследования:

- Экспериментально определена зависимость эффективной скорости откачки агрегата типа АВР-150 от частоты электродвигателя насоса НВД-600.

- Проведены расчеты эффективной скорости откачки для двух систем «вакуумная магистраль-откачной агрегат».

- Проведены расчеты зависимости эффективной скорости откачки для широкого диапазона давлений в зависимости от расхода газа.

На основании проведенных экспериментальных исследований и расчетных данных рассмотрена процедура выбора откачных средств для установок плазменной химико-термической обработки, работающих в определенных режимах по давлению и расходу рабочего газа.

Областью возможного практического применения является сфера производства вакуумного оборудования – установок плазменной химико-термической обработки, работающих в диапазоне низкого вакуума.

В ходе настоящего исследования в лаборатории электрофизики Физико-технического института НАН Беларуси изготовлена установка ионной цементации, в которой в качестве вакуумной системы использован откачной агрегат АД-150/63, характеристики которого рассмотрены в настоящей работе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Производство зубчатых колес газотурбинных двигателей / Ю.С. Елисеев, В.В. Крымов, И.П. Нежурич, В.С. Новиков, Н.М. Рыжов – М.: Высш. шк., 2001. – 493 с.
2. Смирнов, А.Е. Контролируемое диффузионное насыщение при ионной химико-термической обработке / А.Е. Смирнова, А.В. Родионов, Н.М. Рыжов // МиТОМ, 1994. – №4. – С.2-6.
3. Смирнов, А. Е. Система управления активностью атмосферы при ионной цементации и нитроцементации / А. Е. Смирнов, Н. М. Рыжов // 4-е собрание металлургов России. Сборник материалов.- Пенза, 1998. – ч. 1. — С. 88–89.
4. Рыжов Д.Н. Разработка организационно-технологических основ промышленного применения инновационных процессов химико-термической обработки: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 2000. – 16 с.
5. Рыжов Д.Н. Преимущества и возможности ионной нитроцементации и цементации // Конверсия в машиностроении. – 1998. – № 1. – С. 36-42.
6. Технологические возможности ионной нитроцементации / А.Х. Макаров, М.В. Борисов, Н.М. Рыжов и др. // Авиационная промышленность. – 1985. – № 6. – С. 61-64.
7. Рыжов, Д.Н. Разработка организационно-технологических основ промышленного применения инновационных процессов химико-термической обработки: диссертация степени кандидата технических наук / Д.Н. Рыжов. – Москва, 2000.
8. В.Д. Кальнер, В.Ф. Никонов С.А., Юрасов. Современная технология цементации и нитроцементации // МиТОМ, -1973-№9-с.23-26
9. Борисенок Г. В., Васильев Л. А., Ворошнин Л. Г. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. Справочник.—М.: Металлургия, 1981—255 с.
10. Смирнов А.Е., Рыжов Н.М. Массоперенос при ионной цементации // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1993. – № 9. – С. 2-7.
11. Смирнов А.Е., Панайоти А.В. Активный контроль насыщающей способности газовой среды при ионной цементации и нитроцементации // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2002. – № 2. – С. 19-20.
12. Смирнов А.Е. Разработка способов активного контроля и автоматизация процесса ионной цементации легированных сталей: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1991. – 16 с.
13. Босьяков, М. Н. Выбор режима упрочняющей обработки на установках ионного азотирования промышленного типа / М. Н. Босьяков, А. Н.

Моисеенко // Современные методы и технологии создания и обработки материалов, – Минск, 2016 г, – ч. 2. — С. 50–58.

14. Опытнo-промышленная установка для ионной цементации стальных деталей / А.Х. Макаров, М.В. Борисов, Н.М. Рыжов и др.// Авиационная промышленность. – 1986. – №4. – С. 50-53.

15. Босьяков М.Н., Олешук И.Г., Моисеенко А.Н., Федорук Г.Ф. Ускоренное формирование науглероженного слоя методом ионно-плазменной цементации. Современные методы и технологии создания и обработки материалов Сб. научных трудов. - Минск: ФТИ НАН Беларуси. 2019. - С. 255-267.

16. Бабад-Захряпин А.А., Кузнецов Г.Д. Химико-термическая обработка в тлеющем разряде. – М.: Атомиздат, 1975. – 175 с

17. Edenhofer В. Möglichkeiten und Grenzen der Plasma aufkolung // Harterei-Technische Mitteilungen. – 1990. – Bd. 45, № 3. – S. 154-152.

18. Рыжов Н.М. Разработка технологических основ комплексного управления качеством поверхностного слоя зубьев высоконагруженных зубчатых колес с целью повышения их контактной выносливости: автореф. дис. ... докт. техн. наук. – М., 1988. – 32 с.

19. Ионная химико-термическая обработка сплавов / Б.Н. Арзамасов, А.Г. Братухин, Ю.С. Елисеев, Т.А. Панайоти. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 400 с.

20. Третьяков В.И., Родионов М.В., Ампилогов А.Ю. Моделирование процессов формирования диффузионной зоны при химико-термической обработке в тлеющем разряде // Металловедение. Термическая и химикотермическая обработка сплавов: Сб. науч. тр. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – С. 78–94.

21. Среда для ионной цементации: а. с. 1694689 СССР, МКИ5 .G 05 С 23 С 8/36 / А.Л. Шевцов, А.Н. Колесников, С.В. Дозморov, В.И. Платонов, О.С. Кригер, В.Ю. Померанцев и П.А. Корнилович; Авторское свидетельство СССР – № 955071; заявл. 02.06.89; опубл. 30.11.91 // Авторское свидетельство СССР – 1979. кл. С 23 С 16/00.

22. Способ ионной цементации стальных изделий: а. с. 751158 СССР, МКИ5 G 04 С 23 С 8/36 / С.А. Юхимчук, В.В. Попов, С.А. Панкратов, В.И. Лакомский, О.Я. Крым и Е.К. Цветаева; Запорожский машиностроительный институт им. В.Я. Чубаря и Украинский научно-исследовательский институт специальных сталей, сплавов и ферросплавов; заявл. 21.03.78; опубл. 23.02.88 // Металловедение и термообработка металлов – 1961. – № 8.

23. Способ химико-термической обработки деталей из сплава на основе титана: пат. 2606352 Рос. Федер, МПК4 С 23 С8/02, С 23 С 10/02, С23 С 8/36, С 23 С 14/48 / Н.К. Криони, А.Д. Мингажев, Р.К. Давлеткулов, А.А.

Мингажева, Н.Ф. Измайлова, Е.В. Бахтиарова; заявитель Уфимский государственный авиационный технический университет; заявл. 14.02.2014; опубл. 10.01.2017 // Официальный бюллетень – 2017. – № 1.

24. Лахтин, Ю.М. Материаловедение / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева — Москва: Машиностроение, 1990.— 528с.

25. Геллер, А.Л. Цементуемые стали для деталей горных машин / А.Л. Геллер / Технология и организация производства. 1973. – № 3. – С. 46-49.

26. Макушина, М.А. Исследование технологической наследственности разных способов цементации / М.А. Макушина, А.А. Климкина, С.А. Пахомова. – Москва: Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2016. – С. 86-89.

27. Пономаренко, И.В. Влияние различных методов поверхностного упрочнения на усталостную прочность / И.В. Пономаренко [и др.] / Журнал «Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета», 2006.

28. Otto F.J., Herring D.H. Vacuum carburizing of aerospace and automotive materials // Heat Treating Progress. – 2005. – Т. 5. – №. 1. – С. 33-37.

29. Edenhofer B. An overview of advances in atmosphere and vacuum heat treatment // Heat treatment of metals. – 1999. – Vol. 26. – № 1. – P. 1–5.

30. Grafen W., Edenhofer B. Acetylene low-pressure carburising – a novel and superior carburizing technology // Heat treatment of metals. 1999. – V. 26. – № 4. – P. 79-85.

31. Kula P., Olejnik J., Kowalewski J. New vacuum carburizing technology // Heat treatment progress. – 2001. – Vol. 1. – № 1. –P. 57–65.

32. Atena H., Schrank F. Neiderdruck-Aufkohlung mit HochdruckGasabsschreckung // HTM. – 2002. – Vol. 4. – No. 57. – P. 247-256.

33. Niskociśnieniowe węgloazotowanie i wysokowydajne niskociśnieniowe nawęglanie – nowe możliwości technologii FINECARB / Kula P., Siniarski D., Pietrasik R., Kaczmarek Ł., Korecki M., Adamek A. // Inżynieria materiałowa. – 2006. – Rocz. 27. – № 5. – S. 1092-1095.

34. I. Hitoshi. Advanced acetylene vacuum carburizing // IHI engineering revivе.- 2005. t. 38, №2 p.83-88.

35. Herring D.H., Pierre J.C.St. Vacuum Carburizing of P/M Steels / Industrial Heating. – 1987. – No. 9. – P. 30-33.

36. Salabová P., Prikner O. Low pressure carburizing – practical experiences // Официальный сайт фирмы SECO/WARWICK S.A. [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <http://www.secowarwick.com/assets/Documents/Articles/Vacuum-Furnaces> Дата доступа: 28.10.2020.

37. Рыжов Н.М., Смирнов А.Е., Фахуртдинов Р.С. Особенности вакуумной цементации в ацетилене теплостойкой стали // *Металловедение и термическая обработка металлов.* – 2004. – № 6. – С. 10-15.
38. Управление характеристиками диффузионного слоя при вакуумной цементации теплостойких сталей / Н.М. Рыжов, А.Е. Смирнов, Р.С. Фахуртдинов и др. // *Металловедение и термическая обработка металлов.* – 2004. – № 8. – С. 22-27.
39. ГОСТ 14249-89 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. – Москва: Изд-во стандартов, 1989. – 55 с.
40. М. Н. Босяков, А. А. Козлов. Газодинамические характеристики тлеющего разряда при ионном азотировании // *Наука и техника.* – 2018. – Т. 17, №5. – С. 367–377
41. IonitechLtd. Products [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.ionitech.com/products/coldwall-equipment.html> – Дата доступа: 01.10.2020.
42. Упрочняющая ионная химико-термическая обработка [Электронный ресурс] // Физико-технический институт НАН Беларуси. – Режим доступа: <http://phti.by/product/Hardening-ion-chemical-heat-treatment>. – Дата доступа: 01.10.2020.
43. Plasma Nitriding Equipment for South America [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.secowarwick.com/en/news/plasma-nitriding-equipment-for-south-america/> – Дата доступа: 27.10.2020.
44. PVA Industrial Vacuum Systems GmbH. PulsPlasma® Nitriding. Oxidation [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.plateg.com/willkommen-eng.html> – Дата доступа: 01.10.2020.
45. Nitriding Plants [Electronic resource] // Eltropuls. – Mode of access: <http://www.eltropuls.de/en/products/plant-engineering/nitriding> – Date of access: 15.10.2020
46. Nitriding and Coating Systems [Electronic resource] // RÜBIG Industrial Furnaces. – Mode of access: https://www.rubig.com/fileadmin/user_upload/AT/Downloads/AT_Folder_Anlagentechnik_A4_EN_20170321_Einzelseiten.pdf – Дата доступа: 25.10.2020
47. М. Н. Босяков, А. А. Козлов. Газодинамические характеристики тлеющего разряда при ионном азотировании. *Наука и техника*, т. 17, №5 (2018), с. 367-377.
48. Л. Н. Розанов. Вакуумная техника / Л. Н. Розанов. М.: Высш. шк., 2007. 320 с.
49. M.N. Bosyakov, A.A. Kozlov, I.L. Pobol - Nitrogen transfer during ion nitriding, *Surface Engineering*, 2015, 3, p.3-10

50. Босяков М.Н., Былицкий В.В., Рудый В.В., Поболь И.Л. Массоперенос углерода при ионной цементации стали в установках промышленного типа XII МНТК «Современные методы и технологии создания и обработки материалов». Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2017, стр.28-36.
51. Агрегат АД-150/63. <https://www.nprom.ru/nasos-avd-150-63.html> – Дата доступа: 15.10.2020
52. Механические вакуумные насосы./ Е.С.Фролов, И.В.Автономова и др.-М.:Машиностроение,1989 – 288с.
53. Основы вакуумной техники: Учебник для техникумов/ А. И. Пипко, В.Я. Плисковский, Б. И. Королев, В. И. Кузнецов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоиздат, 1981. – 432 с., ил.
54. Босяков М.Н, Былицкий В.В. Рудый В.В.. Поболь И.Л. Пути совершенствования технологии изготовления крупногабаритных тяжело нагруженных колец подшипников для большегрузных автосамосвалов «БЕЛАЗ» VIII МНТК Современные методы и технологии создания и обработки материалов. Кн. 2. Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2016. С. 42-49
55. Электротермическое оборудование : справочник / Сост. А. П. Альтгаузен [и др.]; Под ред. А. П. Альтгаузена. - Москва: Энергия, 1967
56. М.Н. Босяков, А.А. Козлов. Энергетические параметры процессов ионного азотирования на промышленном оборудовании // Доклады БГУИР 2013. № 3(73). С. 76-82.
57. В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.В. Сукомел. Теплопередача. – М.: Энергоиздат, 1981.
58. Теория, конструкции и расчеты металлургических печей. Т.2. Б.С.Мастрюков. Расчеты металлургических печей. – М.: Металлургия, 1986. – 376 с.
59. А.В. Арндарчук, А.С. Бородачев, В.И. Филиппов. Общепромышленные печи периодического действия. – М.: Энергоиздат, 1990. – 112 с.
60. Н.В. Большакова, А.М. Ильин и др. Теплопроводность волокнистых материалов в различных средах. – Электротехническая промышленность. Сер. Электротермия.,1984, вып.3(253), стр.4-5.
61. Е.В. Рябченко. Ионная цементация. Техника машиностроения. 2002, №1 (35), с. 77-80.
62. Л.С. Кацевич. Теория теплопередачи и тепловые расчёты электрических печей. Учебник для техникумов. М., “Энергия”, 1977. – 304 с.
63. Б.З. Персов. Расчёт и проектирование экспериментальных установок. – Москва-Ижевск: НИЦ ”Регулярная и хаотическая динамика”; Институт компьютерных исследований, 2006. – 348 с.

64. ГОСТ 12.2.007.9-93 (МЭК 519-1-84) Безопасность электротермического оборудования. Часть 1. Общие требования. М.: Стандартиформ, 2006
65. Данилин Б. С. и Минайчев В. Е. Основы конструирования вакуумных систем. Под общ. ред. Р. А. Нилендера. М., “Энергия”, 1971.
66. Л.С. Кацевич. Расчет и конструирование электрических печей. М.: Государственное энергетическое издательство. 1959. — 440 с.
67. Материалы для электротермических установок: Справочное пособие / Н. В. Большакова, К. С. Борисанова, В. И. Бурцев и др.; Под ред. М. Б. Гутмана. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 296 с.
68. *Лазаренков, А.М. Методические указания по выполнению раздела «Охрана труда» в дипломных проектах для студентов приборостроительного факультета / А.М. Лазаренков, А.М. Науменко, Г.Л. Автушко: – Минск: БНТУ. 2010. – 43с.*
69. Требования к микроклимату рабочих мест в производственных и офисных помещениях: СанПиН №33.– Минск: Минздрав, 2013. – 16с.
70. Требования к контролю воздуха рабочей зоны: СанПиН №92.– Минск: Минздрав, 2017. – 340с.
71. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: СНБ 4.02.01.–03. – Минск: Министерство архитектуры и строительства, 2003. – 82с.
72. Шум на рабочих местах, в транспортных средствах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки: СанПиН №115.– Минск: Минздрав, 2011. – 12с.
73. Предельно допустимые и допустимые уровни нормируемых параметров при работах с источниками производственной вибрации, вибрации в жилых помещениях, помещениях административных и общественных зданий: СанПиН №132.– Минск: Минздрав, 2012. – 25с.
74. Естественное и искусственное освещение: ТКП 45–2.04–153–2009 – Минск: Министерство архитектуры и строительства, 2009. – 104с.
75. Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ): СанПиН 2.2.4/2.1.8.9–36–2002,– Минск: Минздрав. 2002. – 22 с.
76. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление: ГОСТ 12.1.030–81.ССБТ – Москва: Стандартиформ, 1981. – 7с.
77. Правила устройства и защитные меры электробезопасности: ТКП 339-2011 – Минск: Министерство энергетики, 2011. – 600с.
78. Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности: ТКП 474–2013 (02300) – Минск: Министерство по чрезвычайным ситуациям, 2013. – 57с.

79. Пожарная техника. Огнетушители. Требования к выбору и эксплуатации: ТКП 295-2011 – Минск: Министерство по чрезвычайным ситуациям, 2017. – 19с.

80. Пожарная автоматика зданий и сооружений: ТКП 45–2.02–190–2010. Минск: Министерство архитектуры и строительства, 2015. – 82с.

81. ТКП 45-2.02-315-2018 «Пожарная безопасность зданий и сооружений. Строительные нормы проектирования».