

УДК 621.723+669.71.24.26

Г.И. КОСТЮК¹, В.И. РЕШЕТНЯКОВ²

¹*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

²*ПО завод им. Малышева, Украина*

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ УСТАНОВОК «БУЛАТ» ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Рассмотрены возможности управления плотностью ионного тока в режиме ионного легирования и имплантации, т.е. влияние на ее технологические параметры: ток фокусирующего магнита, напряжение на подложке, давление реакционного газа и ток дуги. Рассмотрено распределение плотности ионного тока по радиусу подложки на разных расстояниях от испарителя. Все исследования проведены для условий работы одного и двух взаимно перпендикулярно расположенных испарителей, что позволяет получить значение дозы облучения в каждой точке технологической установки и найти время работы установки для получения требуемой дозы облучения.

эффективность, покрытие, упрочнение, детали машин, коэффициент эффективности покрытия или упрочнения, коэффициент эффективности вложения в покрытие или упрочнение

Введение

В связи с трудностями получения ионов высоких энергий в работе представлены исследования, позволяющие с научных позиций подходить к проблеме создания комбинированных технологий для упрочнения деталей авиационной техники (АТ) на базе плазменно-ионных покрытий, ионной имплантации и ионного легирования на промышленных установках «Булат».

Комбинированные методы обработки на основе ионной имплантации и ионного легирования рассматривались в работах [1 – 5].

Работы проводились по программам ГКНТ Украины по фундаментальным исследованиям Миннауки, Министерства образования и Министерства образования и науки Украины:

- «Создание поверхностных слоев с заданными свойствами»;
- «Комбинированные технологии для упрочнения деталей машиностроения и режущего инструмента»;
- «Интегрированные технологии нанесения покрытий на детали авиационной техники».

1. Исследование распределения плотности ионного тока в рабочем объеме технологической плазменно-ионной установки при различных режимах очистки, ионного азотирования, ионной имплантации и ионного легирования

Измерение плотности тока в рабочей зоне плазменно-ионной установки необходимо для решения вопроса о скорости процесса нанесения покрытия, ионного шлифования или очистки, производительности в режиме ионной имплантации и ионного легирования или интенсивного азотирования. Все это в конечном счете определяет толщину покрытия, толщину слоя удаляемого материала при ионном полировании и ионном фрезеровании. Также решается вопрос о величине дозы облучения при ионной имплантации и ионном легировании. Поэтому исследование характера распределения плотности ионного тока в рабочем объеме установки является важной задачей, позволяющей найти наиболее рациональную конструкцию технологической оснастки с целью получения покрытий рав-

ной толщины по всей поверхности детали и уменьшить разницу доз облучения, получаемых различными частями этих деталей.

Следовательно, экспериментальные исследования распределения плотности тока в рабочем объеме установки в режиме ионной имплантации являются важными и актуальными.

Исследования в этом направлении были связаны с выполнением работ по программе 625 «Плазменно-ионные технологии», «Прогрессивные технологии и РТК в машиностроении» (руководитель – академик К.С. Колесников) в СССР, развивались в программах ГКНТ Украины по фонду фундаментальных исследований проект 4616, в программах Министерства науки и образования «Создание поверхностных слоев с заданными свойствами», «Повышение эксплуатационных характеристик деталей путем создания поверхностных слоев с прогнозируемыми свойствами», а также в целой гамме хозяйственных и госбюджетных работ с Министерством промполитики, ГП ХМЗ ФЭД, ПО завод им. Малышева, НПО РОТОР, где проводилось внедрение этих результатов.

В настоящей работе приводятся результаты исследования распределения плотности тока в рабочем объеме плазменно-ионной установки в режиме ионного шлифования или очистки, ионного азотирования, ионной имплантации и ионного легирования, что важно для реализации комбинированных технологий.

2. Методы исследования и оборудование

Режим очистки или бомбардировки ионами с энергией 500 ... 2000 эВ имеет большое значение для очистки поверхностного слоя от адсорбированных на поверхности атомов, но не удаленных с поверхности за счет химической и ультразвуковой очистки. Этот режим имеет самостоятельное значение, когда используется для интенсивного ионного азотирования, ионной имплантации и ионного легирования.

В связи с тем, что измерения необходимо проводить на подложке, находящейся под значительным потенциалом, такие измерения практически не проводились, за исключением работы [5], где напряжение на подложке не превышало 800 В.

Это привело к необходимости исследования характера распределения плотности ионного тока в рабочем объеме установки, что позволит выявить вероятные места размещения деталей с незначительно отличающейся плотностью тока, т.е. тогда скорость изменения геометрии детали при очистке, а следовательно, и толщина снимаемого слоя при очистке, будут одинаковы.

Исследования проводились на установке, описанной ранее [7], в автоматическом режиме с применением развязки высоковольтной части от низковольтной.

Измерения проводились в режиме работы одного и двух источников.

3. Обсуждение результатов на основании распределения плотности ионного тока в рабочем объеме установки в высоковольтном режиме

Проводилось исследование распределения плотности тока по радиусу, проверялись закономерности изменения плотности ионного тока от тока фокусирующего магнита, напряжения на подложке, давления азота и тока дуги.

Так, распределение плотности тока по радиусу для случая работы одного источника представлено на рис. 1 для расстояний от испарителя 0,2; 0,25; 0,36 и 0,42 м. Видно, что характер распределения практически одинаков, а величина максимальной плотности тока и на всех радиусах уменьшается с ростом расстояния до испарителя. Характер распределения по радиусу симметричен относительно оси симметрии камеры, вдоль которой установлен испаритель.

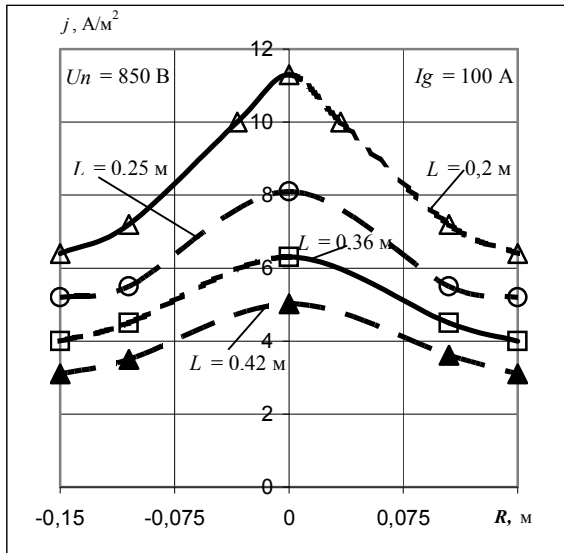


Рис. 1. Распределение плотности ионного тока при очистке по радиусу рабочей зоны на различных расстояниях до испарителя

Величины плотности тока более чем на порядок ниже, чем при режиме нанесения покрытий, максимальные и минимальные значения отличаются практически в 2 раза.

Проводилось исследование влияния тока в фокусирующем магните на максимальную плотность тока в рабочей зоне на тех же расстояния от подложки (рис. 3, а).

Видно, что на всех расстояниях от испарителя величина тока фокусирующего магнита значительно (до двух раз) изменяет плотность ионного тока, причем большие по величине значения соответствуют минимальному расстоянию до испарителя. Существенное влияние тока фокусирующего магнита на плотность ионного тока говорит о возможности управления плотностью ионного тока этим технологическим параметром.

Проведенные исследования влияния давления азота на плотность ионного тока (рис. 3, в) говорят о слабом влиянии на плотность тока (до 20%) давления азота, что позволяет этот технологический параметр не использовать для управления плотностью тока при очистке.

Результаты исследования влияния тока дуги на плотность ионного тока (рис. 3, г) говорят о незначи-

тельном (до 17%) влиянии тока дугового разряда на величину максимальной плотности ионного тока, хотя при больших токах распределение более равномерно по радиусу. Для управления плотностью тока ток дугового разряда использовать нецелесообразно.

Для случая работы одновременно двух испарителей (расположенных взаимно перпендикулярно) распределение плотности тока изменилось существенно. Так, осевой симметрии не наблюдается, на радиусах, расположенных в дальней зоне по отношению и боковому испарителю, плотность тока существенно повышается, тогда как в ближней к нему повышается незначительно. Значение максимальной плотности тока повысилось в 1,5 ... 1,8 раза (рис. 2), причем максимальная и минимальная плотность ионного тока в исследуемых плоскостях отличаются от 1,75 до 2 раз.

Исследование влияния тока фокусирующего магнита (рис. 4, а), напряжения на подложке (рис. 4, б), давления азота в камере (рис. 4, в) и тока дуги (рис. 4, г) показало, что характер кривых сохранился таким же, что и при работе одного испарителя, только значения плотности тока возросли в 1,5 ... 1,8 раза.

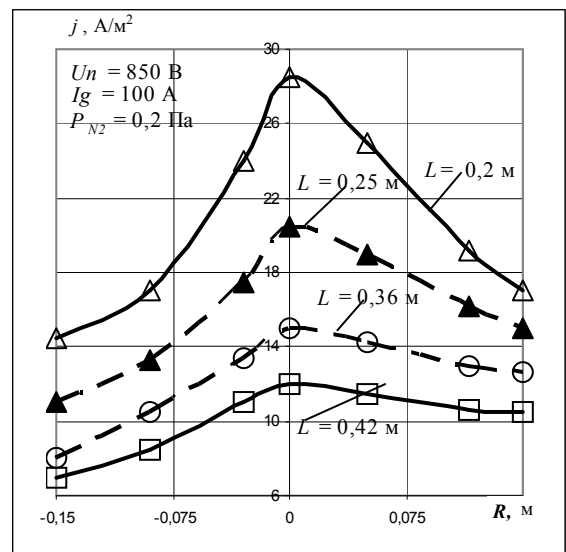
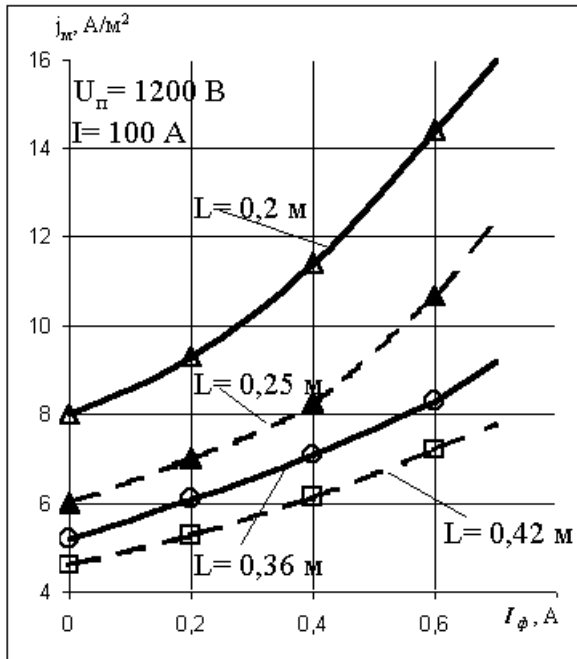
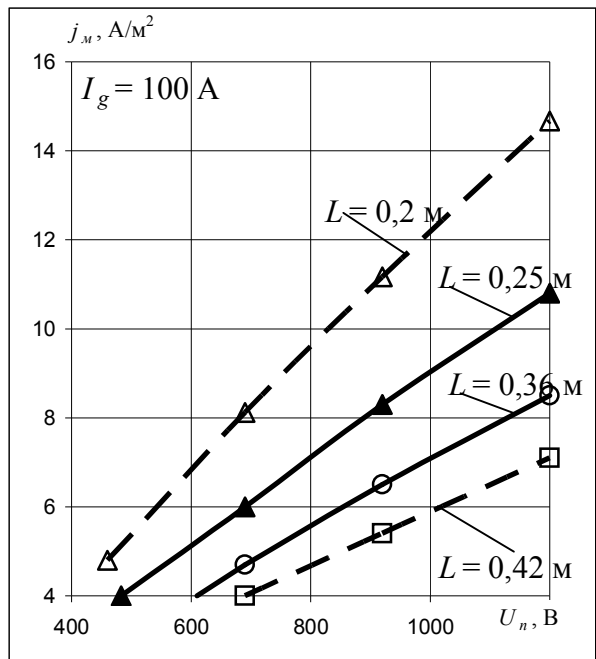


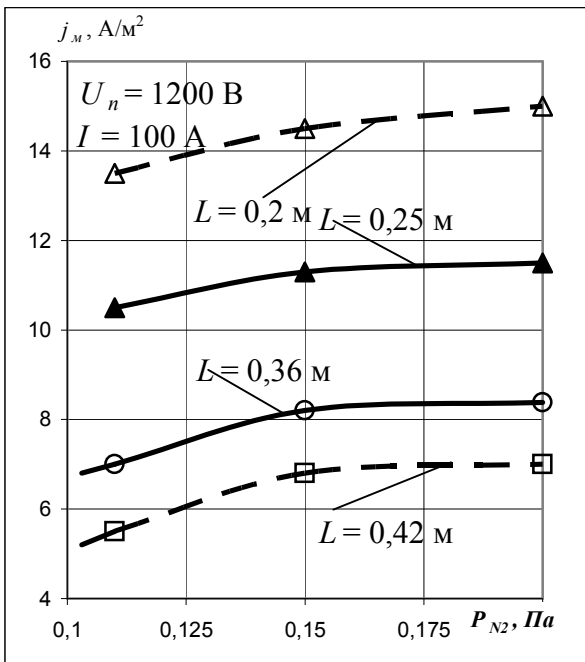
Рис. 2. Распределение плотности тока по радиусу при работе двух источников ионов в режиме очистки ($U_n = 1200$ В, $I_g = 100$ А, $P_{N_2} = 0,2$ Па)



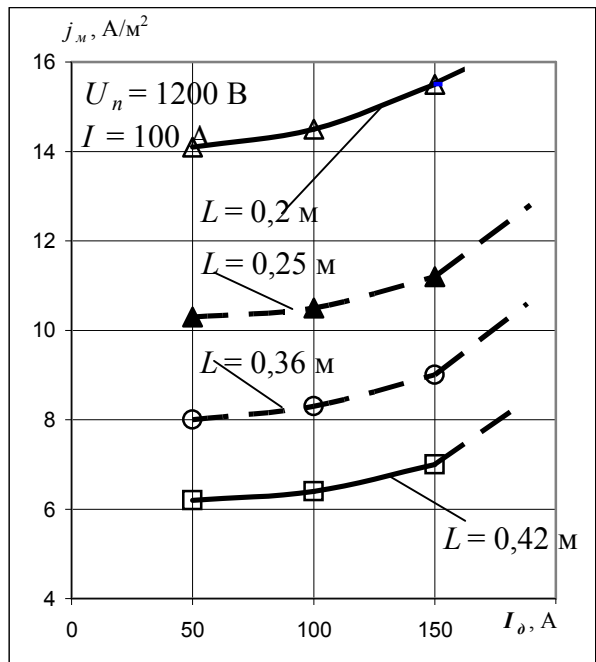
а



б



в



г

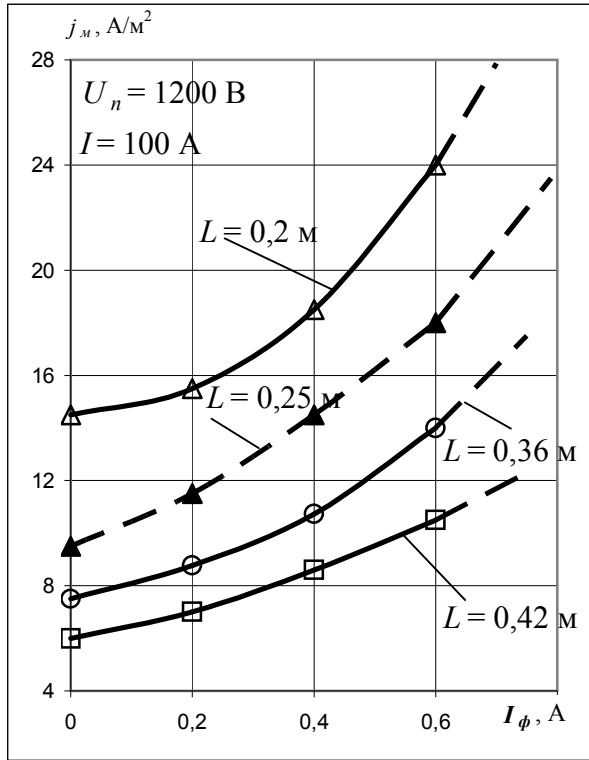
Рис. 3. Зависимость максимальной плотности ионного тока при очистке на различных расстояниях от испарителя (0,2; 0,25; 0,36; 0,42 м) при работе одного испарителя:

а – от тока фокусирующего магнита;

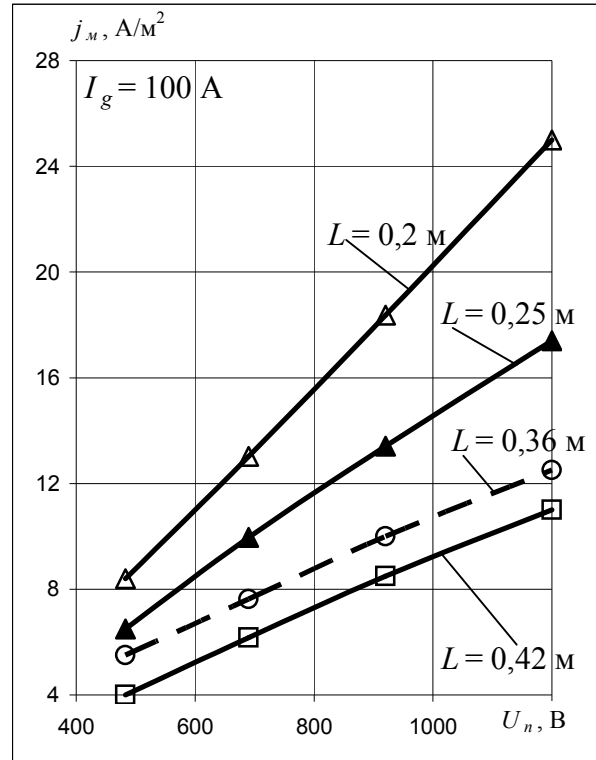
б – от напряжения на подложке;

в – от давления азота;

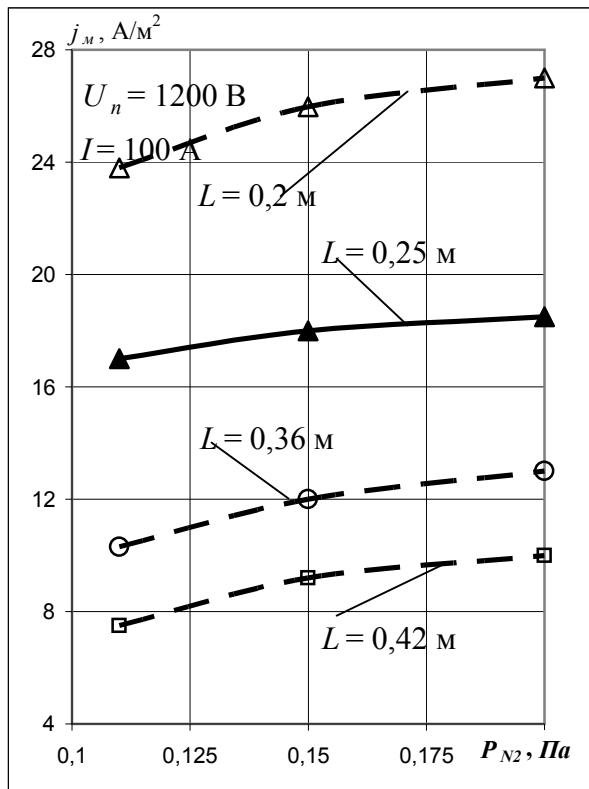
г – от тока дуги



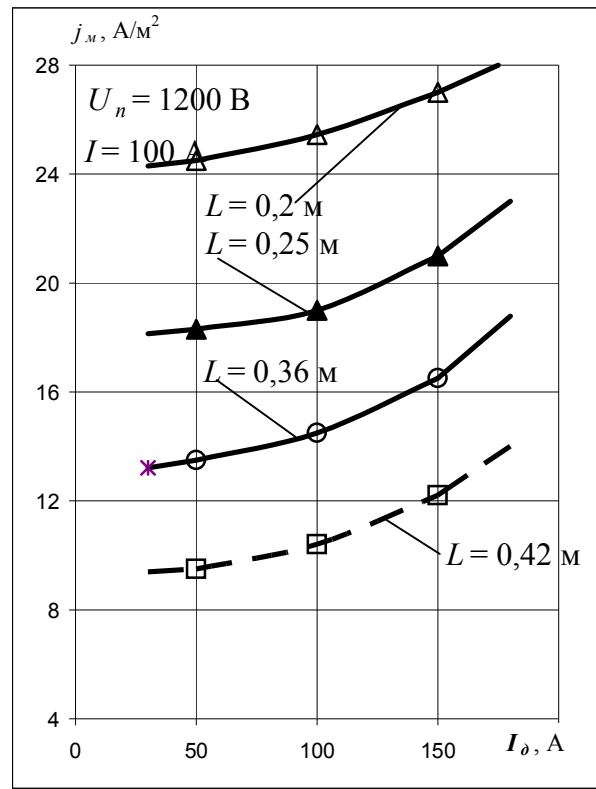
а



б



в



г

Рис. 4. Зависимость максимальной плотности ионного тока при очистке на различных расстояниях от испарителя (0,2; 0,25; 0,36; 0,42 м) при работе двух испарителей:
 а – от тока фокусирующего магнита;
 б – от напряжения на подложке;
 в – от давления азота;
 г – от тока дуги

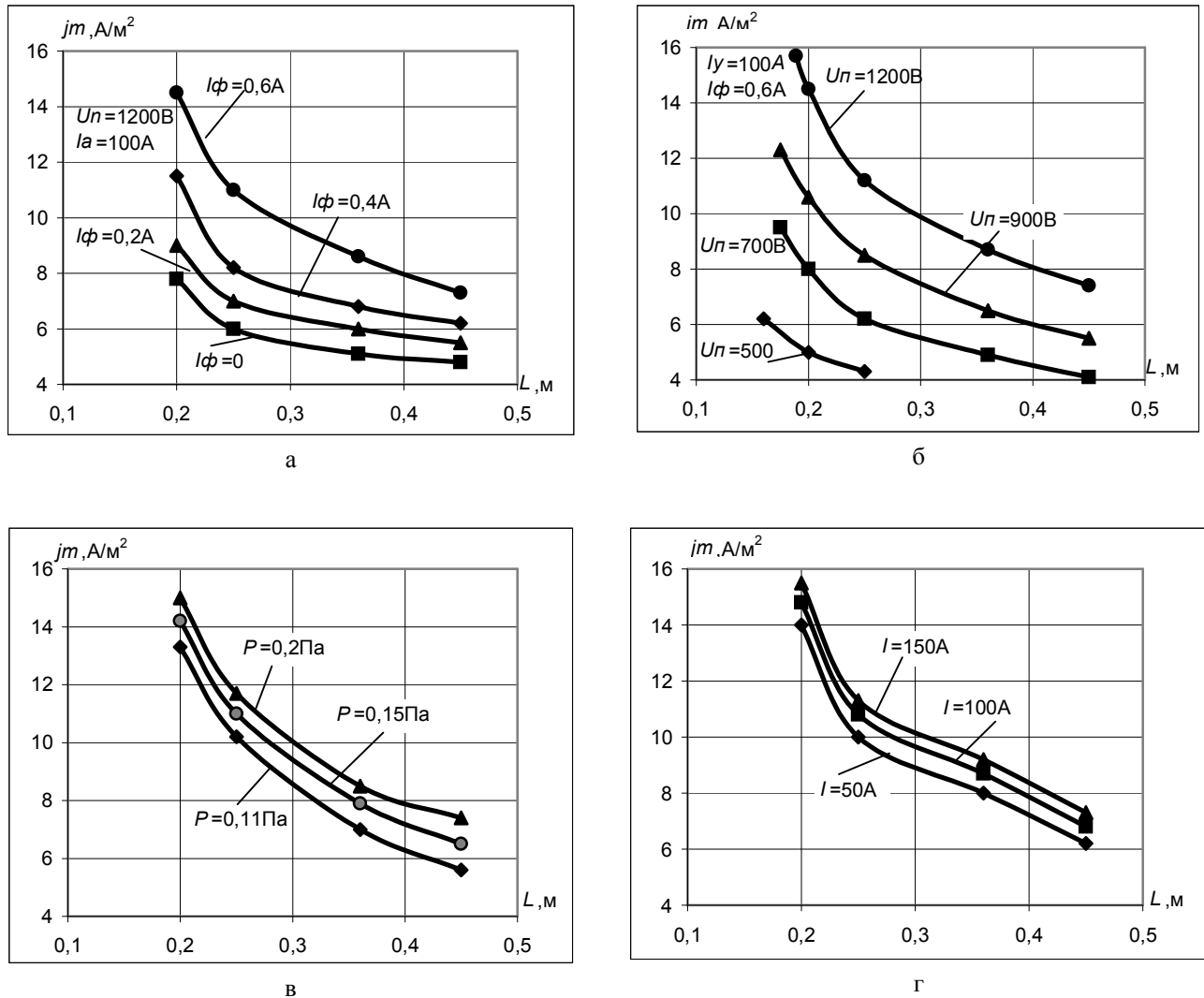


Рис. 5. Зависимости максимальной плотности тока от расстояния до испарителя при различных:
а – токах фокусирующего электрода I_{ϕ} ;
б – напряжениях на подложке U_n ;
в – давлениях реакционного газа P ;
г – токах дуги I_y (г)
при работе одного испарителя

Видно, что и в этом случае управление плотностью тока можно осуществлять за счет изменения напряжения на подложке и тока фокусирующего магнита, так как влияние давления азота и тока дуги незначительно и управление плотностью ионного тока за счет этих параметров нерационально.

Проведенные исследования позволяют использовать достоверные данные для расчета производительности очистки и прогнозирования профиля детали после режима ионной очистки, что совместно с проведенными исследованиями для режима напыления позволяет получить производительность всего

цикла обработки и прогнозировать геометрию детали после режима очистки и напыления.

Проводилось распределение плотности ионного тока на различных расстояниях от испарителя: 200, 250, 250 и 450 мм, которые практически сохранили характер распределения, а величина изменилась пропорционально величине максимального значения плотности тока.

На рис. 5 и 6 приведены зависимости максимальной плотности ионного тока от расстояния до испарителя в случае работы одного испарителя (рис. 5) и двух испарителей (рис. 6):

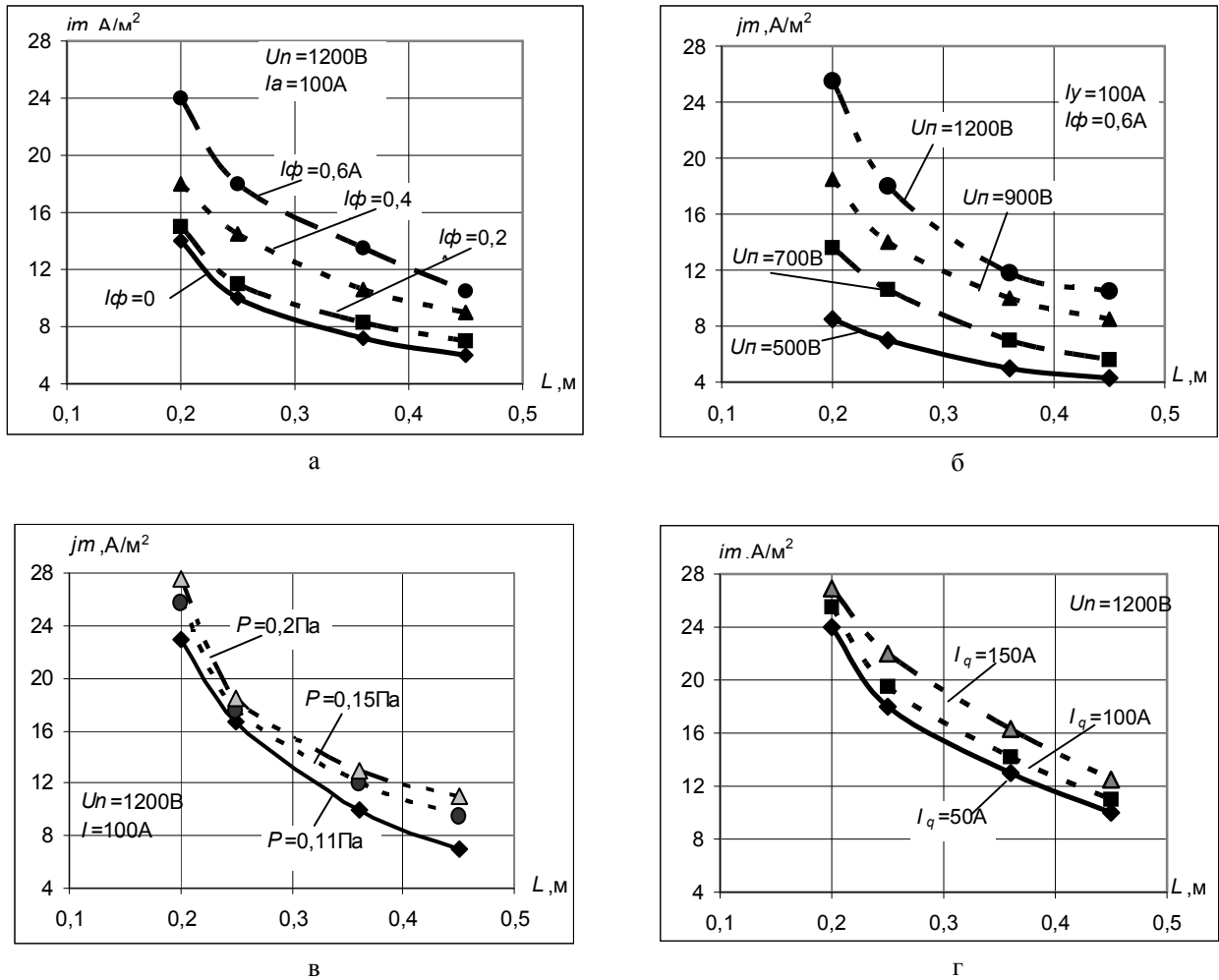


Рис. 6. Зависимости максимальной плотности тока от расстояния до испарителя при различных:
 а – токах фокусирующего магнита I_ϕ (а),
 б – напряжениях на подложке U_n ;
 в – давлениях реакционного газа P ;
 г – токах дуги I_q (г)
 при работе двух взаимно перпендикулярно расположенных испарителях

– при различных токах фокусирующего магнита (рис. 5, а и 6, а);

– при различных напряжениях на подложке (рис. 5, б и 6, б);

– при различных давлениях реакционного газа (рис. 5, в и 6, в);

– при различных токах дуги газа (рис. 5, г и 6, г).

Анализ представленных зависимостей показывает:

– наибольшее влияние на максимальную плотность тока оказывает напряжение на подложке;

– ток в фокусирующем магните оказывает достаточно существенное влияние на максимальную плотность тока;

– влияние давления реакционного газа и тока дуги незначительно.

Все это говорит о том, что наибольшее влияние на величину ионного тока оказывают, в режиме имплантации и ионного легирования напряжение на подложке и ток фокусирующего магнита, правда менее существенно.

Проведенные исследования, совместно с полученными распределениями ионного тока по радиусу подложки, дают распределение плотности ионного тока в рабочем объеме установки при ионной имплантации, ионном легировании, ионном шлифовании и при очистке.

Выводы

Показана возможность управления плотностью ионного тока в рабочем объеме установки в режиме ионной имплантации и ионного легирования, ионного шлифования и очистки, а также ионного интенсивного азотирования, а следовательно, и применения для комбинированной обработки деталей авиационной техники в сочетании с плазменно-ионной обработкой, лазерной закалкой и модификацией.

Проведенные исследования позволяют определить дозу облучения ионами, которую получает деталь, расположенная в любой точке рабочей зоны установки.

Показано, что напряжение на подложке (детали) в основном определяет величину плотности ионного тока, величина тока фокусирующего магнита оказывает также существенное влияние на плотность ионного тока на подложке (детали). Все это говорит о возможности управления с помощью этих технологических параметров плотностью ионного тока, а следовательно, и дозой облучения получаемой деталью.

Литература

1. Костюк Г.И. Физико-технические основы нанесения покрытий, ионной имплантации и ионного легирования, лазерной обработки и упрочнения, комбинированных технологий. Физические процессы плазменно-ионных, ионно-лучевых, плазменных, светолучевых и комбинированных технологий. Книга 1. – Х.: АИНУ, 2002. – 587 с.

2. Костюк Г.И. Физико-технические основы нанесения покрытий, ионной имплантации и ионного легирования, лазерной обработки и упрочнения, комбинированных технологий. Справочник

для расчета основных физических и технологических параметров, оценки возможностей, выбора типа технологий и оборудования. Книга 2. – Х.: АИНУ, 2002. – 441 с.

3. Мухин В.С., Мингажев А.Р., Смыслов А.М., Абрамов В.Г. Разработки и исследование свойств жаростойких покрытий в условиях регулярной структуры // Материалы Всесоюзной НТК "Проблемы обеспечения свойств поверхности". – Уфа. – 1987. – С. 23 – 29.

4. Костюк Г.И. Эффективный режущий инструмент с покрытием и упрочненным слоем. Справочник. – К.: АИНУ, 2003. – 412 с.

5. Костюк Г.И., Аксенов И.И., Приезжев В.Г., Хороших В.М., Цыбин А.С. Плазменное напыление при производстве авиационной техники и режущего инструмента. Уч. пособие. – Х.: ХАИ, 1988. – 103 с.

6. Патлай Н.И. Низкотемпературное нанесение покрытий на детали двигателей и агрегатов летательных аппаратов в вакуумной технологической установке с радиальными потоками плазмы: Дисс. канд. техн. наук. – Х.: 1991. – 221 с.

7. Костюк Г.И., Белов Н.Л., Романенко С.А. Изучение закономерностей распределения плотности ионного тока в рабочем объеме технологической плазменно-ионной установки в различных режимах нанесения покрытия // Авиационно-космическая техника и технология. – 2003. – Вып. 38/3. – С. 29 – 41.

Поступила в редакцию 3.09.2004

Рецензенты: д-р. техн. наук, проф. С.С. Добровторский, Национальный технический университет «ХПИ», Харьков; д-р техн. наук, проф. В.М. Хороших, Национальный научный центр ХФТИ, Харьков.