

УДК 621.924.94

ТЕРМОИМПУЛЬСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ АГРЕГАТОВ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ*В.С. Кривцов¹, д-р техн. наук, А.А. Жданов²*¹ *Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ",*² *Государственное предприятие "Харьковский машиностроительный завод ФЭД"*

Приведены результаты исследований влияния технологических загрязнений на ресурс агрегатов авиационных двигателей, определения источников этих загрязнений и результаты термоимпульсной очистки поверхностей деталей.

* * *

Наведено результати досліджень впливу технологічних забруднень на ресурс агрегатів авіаційних двигунів, визначення джерел цих забруднень і результати термоімпульсної очистки поверхонь деталей.

* * *

The outcomes of researches of influencing of technological contaminations on resource of aggregates of aero-engines, definition of sources of these contaminations and outcomes thermal-pulse of clearing of surfaces of parts are adduced.

Создание и производство высокоресурсных, надежных в эксплуатации машин актуально для всего машиностроения, поскольку это рациональный путь экономии материальных и энергетических ресурсов страны, снижения нагрузки на окружающую среду путем уменьшения объемов производства и вредных выбросов, сопутствующих износу машин.

Одним из наиболее эффективных мероприятий по обеспечению высокого ресурса и надежности в эксплуатации прецизионных пар трения является очистка поверхностей от технологических загрязнений. Поэтому интерес к отделочно-очистным технологиям в высокоразвитых в промышленном отношении странах не ослабевает несколько десятилетий [1,2,3]. За последние 10 лет количество применяемых отделочно-очистных методов увеличилось с 80 до 110 и на порядок больше моделей оборудования для их реализации. Это свидетельствует как о важности, так и о сложности решения рассматриваемой проблемы. Однако известные технологии и оборудование не решают проблем отечественного машиностроения и, в частности, авиационного агрегатостроения.

Основной причиной неэффективности использования узкоспециализированного оборудования и технологий, разработанных в странах Западной Европы, США, Японии и др. под структуру своей промышленности, где преобладают мелкие, специализированные фирмы, объясняется следующим. Для обеспечения гарантированного качества изделий необходимо очищать 100% деталей, входящих в автономный узел, что в условиях производства агрегатов летательных аппаратов приводит к использованию около 20 методов и соответствующего количества оборудования [1].

Но в СССР, а в последующем и в странах СНГ это направление техники не получило должного развития. В рыночных условиях игнорировать проблему очистки поверхностей деталей машин и механизмов в Украине и странах СНГ без потери их конкурентной способности невозможно. Поэтому необходимы исследования и разработка новых технологий, работы по адаптации к структуре отечественного машиностроения известных универсальных методов очистки, изучение природы образования ликвидов.

Специфические условия эксплуатации лета-

тельных аппаратов диктуют особые и жизненно необходимые для аэрокосмической техники требования к надежности работы агрегатов. Надежность прогнозируется в процессе обоснования схемных, конструктивных и технологических решений; обеспечивается в производстве комплексом технологических процессов при обработке, сборке, техническом контроле и испытаниях; реализуется и поддерживается в эксплуатации. Основные показатели надежности гидравлических и топливных агрегатов – долговечность, характеризуемая ресурсом, безотказность и сохраняемость. Такие показатели, как ресурс и безотказность, обеспечиваются в производстве, а проявляются в условиях эксплуатации. Топливные и гидравлические агрегаты летательных аппаратов имеют большое количество различных по конструкции и назначению золотниковых и плунжерных пар, работоспособность которых определяет надежность изделий.

Необходимым условием безотказной работы является высокая стабильность сил трения в данных парах, для чего следует обеспечить качественную очистку и предохранение поверхностей и кромок деталей от технологических загрязнений. Попадая в зазоры между рабочими поверхностями прецизионных пар, твердые частицы вызывают увеличение сил трения, задиры и заклинивание трущихся пар, интенсивный износ или зарастивание зазоров. Причем, чем точнее механизм, тем он чувствительнее к этим частицам.

Гранулометрический анализ твердых частиц, обнаруженных в полостях и на поверхностях деталей агрегатов летательных аппаратов, показал, что доминируют металлические детали и разброс их размеров составляет от сотых долей до 200 микрон. Наиболее массовые частицы (более 92%) имеют величину менее 5 мкм. Обеспечение промышленной чистоты авиационных агрегатов в производстве и в эксплуатации в значительной степени зависит от определения источников загрязнения.

Из литературы [4] известно, что подавляющее количество загрязняющих частиц имеют размер ме-

нее 5 микрон. На рис. 1 показан график распределения частиц по размерам согласно ГОСТ 17216-71(6-й класс чистоты). В то же время установлен факт постепенного увеличения концентрации частиц в рабочих жидкостях в процессе эксплуатации, не удерживаемых бортовыми фильтрами, на порядок и более. При этом статистика отказов показывает, что основная доля приходится на превышение норм по массовой концентрации, а не по размерам неотфильтрованных частиц [5]. Увеличение концентрации твердых частиц в два раза снижает наработку агрегатов в четыре раза. На рис. 2 показана зависимость наработки на отказ золотниковых агрегатов и гидронасосов от класса чистоты рабочих жидкостей.

Источником увеличения концентрации частиц в рабочих жидкостях являются продукты износа. В отечественном машиностроении явление износа пар трения на начальной стадии эксплуатации получило определение “установившейся”, или “равновесной” шероховатости, которая не соответствует шероховатости, заданной в чертежах.

Устранение неконтролируемого изменения микрорельефа поверхностей трущихся пар позволяет в конечном итоге прогнозировать ресурс и надежность изделий машиностроения. Работы по созданию износостойкого микрорельефа ведутся во многих высокоразвитых в промышленном отношении странах. Например, в соответствии со стандартом DIN 4776, действующим в западноевропейских странах, контролируют, кроме параметров микрогеометрии поверхности, форму профиля. Используя кривую Аббота–Файерстоуна [6], можно выделить следующие элементы профиля шероховатости: усредненную высоту выступов, быстроразнашивающуюся в начальный период эксплуатации; усредненную глубину неровностей профиля поверхности, являющуюся основой профиля поверхности, длительное время находящейся в работе и оказывающей основное влияние на срок службы изделия; усредненную глубину впадин, определяющих смазывающую способность поверхности (рис. 3).

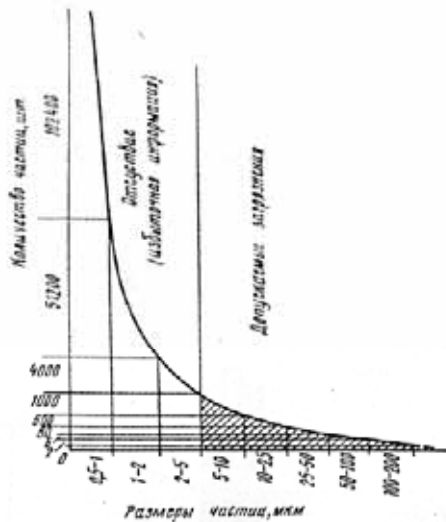


Рис.1. Количество частиц по размерам

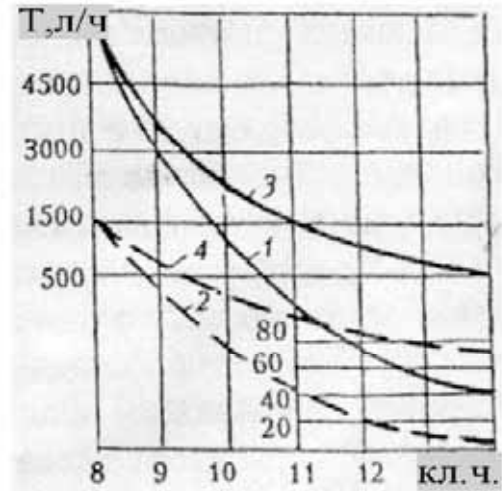


Рис.2. Изменение наработки T от класса чистоты жидкостей (1,2 – зависимости с учетом превышения норм по массовой концентрации $<5\text{мкм}$)

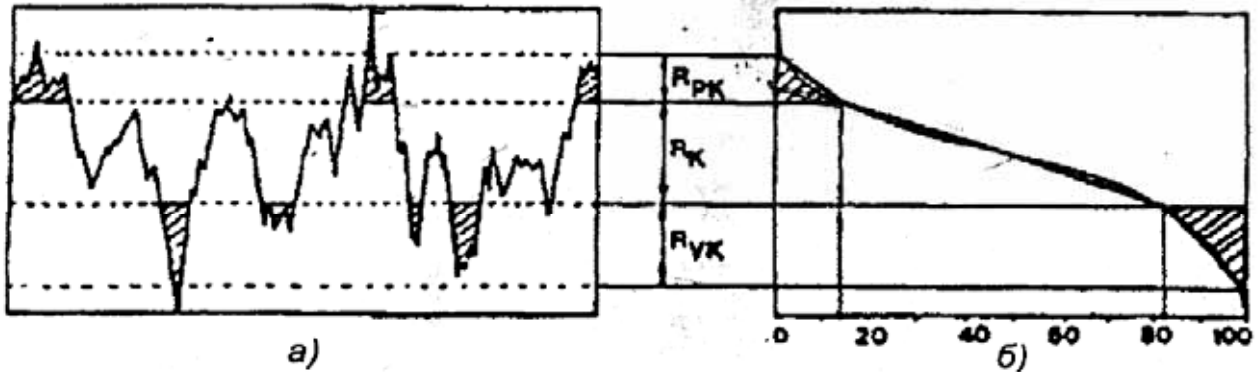


Рис.3. Профилограмма (а) и кривая Аббота-Файерстоуна (б): R_{pk} - быстроизнашивающаяся часть профиля; R_k - соответствует профилю при длительной эксплуатации; R_{yk} - усредненная глубина впадин профиля, удерживающих смазку

Определение характеристик профиля шероховатости позволяет на стадии изготовления сформировать функционально необходимый микрорельеф поверхностей (получить износоустойчивый профиль) и избежать их интенсивного износа в эксплуатации, а значит, и загрязнения гидравлических систем [6].

Управляемое формирование микрорельефа поверхностей несомненно позволяет уменьшить загрязнения систем продуктами износа при эксплуатации изделий. Однако из производственного опыта известен и другой источник технологических загрязнений – металлические частицы после механических видов обработки [1]. Этим обстоятельством продиктовано подробное изучение поверхностного слоя деталей в целях выявления наличия частиц, поскольку результаты важны как при обеспечении

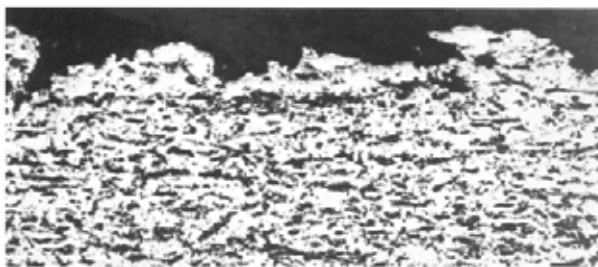
промышленной чистоты, так и при разработке технологии изготовления деталей.

С учетом важности и ответственности, а также высокой стоимости деталей эксперименты по очистке и исследованию состояния поверхностей проводили на специально разработанных образцах, шероховатость которых соответствует шероховатости деталей выпускаемых изделий. Целью данных экспериментальных исследований является определение наличия микрочастиц и характера их связи с поверхностями образцов, изучение поведения материала образцов при обработке, а также выявление закономерностей удаления частиц и микрозаусенцев с очищаемой поверхности. Поскольку детали, подвергаемые очистке, и свойства их материалов весьма разнообразны, то для моделирования процессов

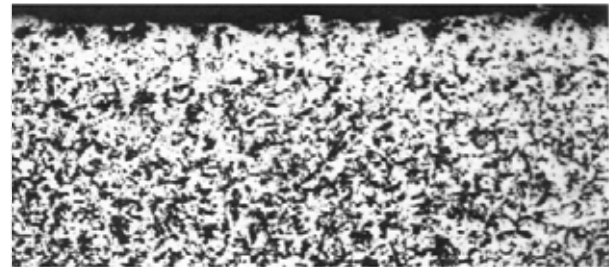
термоимпульсной очистки была разработана методика и план проведения экспериментов, свойства которых хотя и идеализированы, но соответствуют практической картине. Перенос результатов лабораторных экспериментов в практические знания помогают в определении параметров процесса очистки при минимальных затратах.

На основе расчетов выведены уравнения регрессии, проведены проверки на адекватность линейных моделей и на значимость коэффициентов регрессии. Все модели адекватны процессу, поэтому можно сделать вывод, что режимы выбраны правильно, эксперимент проводился при оптимальных условиях и не требует повторения серии опытов.

Экспериментальные исследования технологического процесса термоимпульсной очистки поверхностей образцов, имитирующих поверхности деталей авиационных агрегатов с шероховатостью от 27,0 до 0,02 мкм, позволили установить взаимосвязь размеров ликвидов и величины шероховатости; визуально определить наличие ликвидов и их характер сцепления с поверхностями образцов; выявить влияние импульсного нагрева на изменение микроструктуры материала, микротвердости поверхностного слоя.



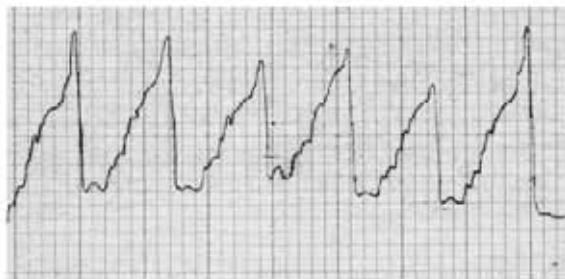
а



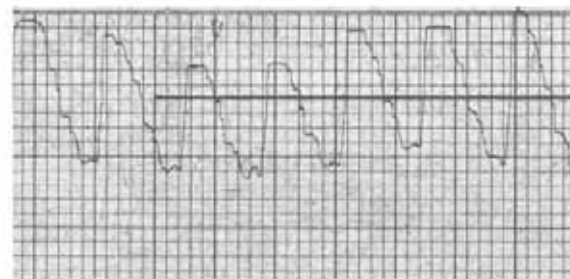
б

Рис.4. $\times 220$. $R_a=7$ мкм.

Поверхность в исходном состоянии и после термоимпульсной очистки



а



б

Рис.5. $R_a=7$ мкм. Г.У.-20, В.У.-1000.

Типовые профилограммы образцов до и после термоимпульсной очистки

На рис. 4 – 9 показаны типовые профилограммы и соответствующие им микрошлифы образцов в исходном состоянии и после термоимпульсной очистки. На рис. 4,а; 6,а; 8,а изображены микрошлифы образцов с поверхностями 4-го, 6-го, 12-го классов шероховатости после механических видов обработки, отчетливо проявлены характерные микроликвиды – в виде микрочастиц и в виде пленов. Плены наблюдаются при обработке деталей притирами и мелкозернистыми абразивными кругами.

Комплексные исследования поверхностей образцов позволили установить влияние термоимпульсной обработки на степень их очистки от технологических загрязнений. Исследования микрошлифов показали наличие микрочастиц на поверхностях всех образцов после механической обработки, а после термоимпульсной очистки микрочастицы не наблюдались. Контроль качества очистки поверхностей с использованием микрошлифов дорогостоящий, трудоемкий, требует высокой квалификации исполнителей и малоприменим в условиях производства. Изменение шероховатости поверхностей образцов в процессе термоимпульсной очистки дает возможность качественной оценки удаления ликвидов с деталей по характеру изменения ее величины.

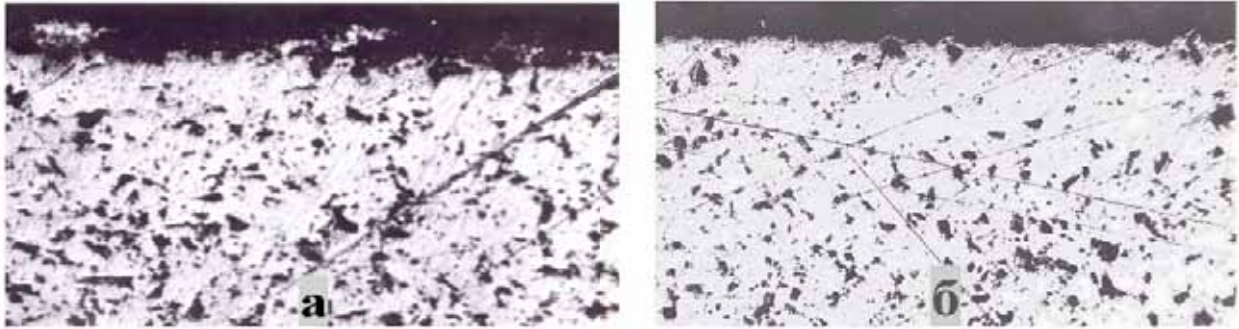


Рис. 6. $\times 220$. а - $R_a=1,86...1,94$ мкм; б - $R_a=1,12...1,28$ мкм.
Поверхность в исходном состоянии и после термомпульсной очистки

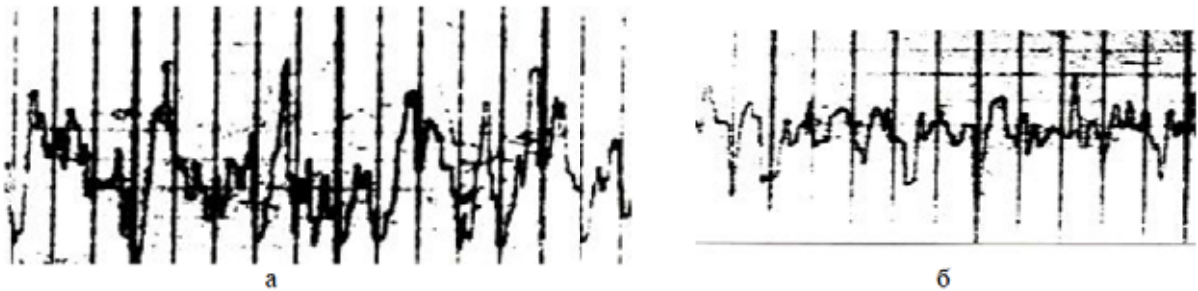


Рис. 7. а - $R_a=1,86...1,94$ мкм; б - $R_a=1,12...1,28$ мкм. Г.У.-20, В.У.-2000
Типовые профилограммы образцов до и после термомпульсной очистки.

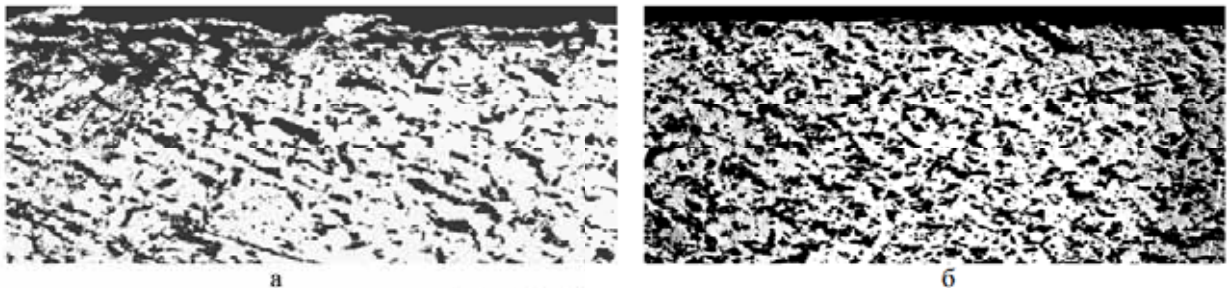


Рис. 8. $\times 320$. $R_a=0,04, 0,05$ мкм.
Поверхность в исходном состоянии и после термомпульсной очистки

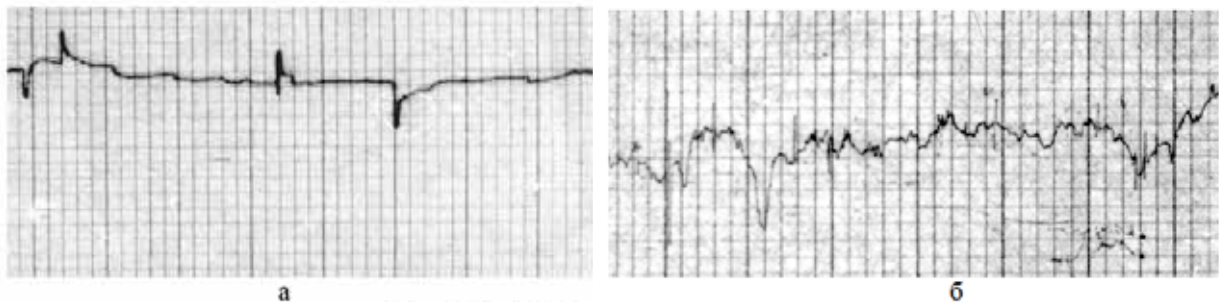


Рис. 9. $R_a=0,04, 0,05$ мкм. Г.У.-20, В.У.-50000.
Соответственно типовые профилограммы образцов до и после термомпульсной очистки.

Установлено также, что длительность контакта обрабатываемых деталей с продуктами сгорания влияет на степень загрязнений поверхностей оксидами. Так, с уменьшением времени контакта поверхности более чистые, но при очистке кромок наблюдаются остатки ликвидов. Влияние давления горючей смеси на качество очистки хорошо согла-

суется с расчетными экспериментами и определяется величиной тепловой энергии, т. е. чем больше величина удаляемых частиц, тем выше необходимое давление смеси. На режимах $P_{сж}=0,63$ МПа при $t = 0,006$ с и $t = 0,05$ с лучшие результаты проявились на образцах с шероховатостью 7–10-го классов, а на остальных образцах изменения по сравнению с

исходным состоянием весьма незначительны. На режимах $P_{см} = 1,26$ МПа при $\tau = 0,05$ с и $\tau = 0,006$ с результаты обработки проявились на всех образцах без исключения, при этом на поверхностях, обработанных чугуном притиром произошло удаление пленов (рис.8,а) и вскрылся микрорельеф, предшествующий процессу притирки (рис.9,б). Более высокое качество очистки наблюдалось при длительности контакта продуктов сгорания с образцами 0,006 с. Объяснение этого явления требует дополнительных исследований с регистрацией параметров газов в рабочей камере.

Величина микрочастиц и микрозаусенцев, обнаруженных на микрошлифах, не превышала 5 мкм (см. рис. 4,а; 6,а; 8,а). Следует отметить, что на микрошлифах размеры ликвидов можно оценить только приблизительно. Сравнение микронеровностей до и после термоимпульсной очистки (рис.4,б; 6,б; 8,б) позволяет оценить величину загрязняющих частиц, попадающих в систему в процессе приработки агрегатов.

Выводы

1. Исследования образцов, имитирующих поверхности деталей агрегатов летательных аппаратов, выявили наличие сложной структуры микроликвидов в виде микрочастиц и пленов на их поверхностях после механических видов обработки.

2. Управляемое формирование микрорельефа поверхностей трения уменьшает загрязнение систем продуктами износа при эксплуатации.

3. Наличие сложной структуры металлических частиц после механической обработки как источника технологических загрязнений требует более детального изучения поверхностного слоя деталей из различных материалов.

4. Ресурс агрегатов зависит от массовой характеристики загрязнений, включая частицы меньше пяти микрон.

5. Результаты исследований дают основание для критического переосмысления установившихся

представлений о выборе величины шероховатости поверхностей и научно обосновано привести ее размеры в соответствие с функциональной необходимостью. Введение термоимпульсной очистки поверхностей после механической обработки деталей позволяет понизить класс чистоты поверхностей, улучшая тем самым условия смазки путем увеличения микрообъемов, удерживающих смазку, и значительно удешевляя стоимость финишных операций.

Литература

1. Жданов А.А. Обеспечение качества гидротопливных агрегатов летательных аппаратов за счет новых технологий // Технологические системы. 2002. №5. С.9 – 13.
2. Белянин П. Н., Данилов В.М. Промышленная чистота машин. -М.: Машиностроение, 1982. - 224 с.
3. Ситало В.Г., Тихий В.Г., Потапович Л.П. Контроль чистоты для обеспечения требований, предъявляемых к космическим аппаратам // Технологические системы. 2001. №2. С. 36 – 42.
4. Тимиркеев Р.Г., Плихунов В.В., Губин Н.Н. Количественные зависимости влияния параметров механических примесей на показатели надежности золотниковых агрегатов гидротопливных систем // Авиационная промышленность. 2000. №3. С. 102-105.
5. Новичков Б.М. Автоматизированный анализ чистоты авиационного топлива // Авиационная промышленность. 1999. №3. С. 16-20.
6. Васильков Д. В., Печенюк Д.Ю. Эффективность использования международных стандартов при контроле микрогеометрии поверхностей деталей // Инструмент. СПб., 1998. С. 6,7.

Поступила в редакцию 11.03.03

Рецензент: канд. техн. наук, главный инженер Фадеев В.А., ГП "Харьковский машиностроительный завод ФЭД, г. Харьков; д-р техн. наук, профессор Долматов А.И., Харьковский Национальный университет радиозлектроники, г. Харьков.