

Состояние проблемы промышленной чистоты машин и механизмов

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского
«Харьковский авиационный институт»*

Представлены результаты исследования влияния промышленной чистоты на эксплуатационные характеристики, долговечность и безотказность машин и механизмов. Показан сравнительный анализ работ проведенный в данном направлении в нашей стране и за рубежом. Исследования снятых с эксплуатации агрегатов позволили определить некоторые источники технологических загрязнений поверхностей деталей. Описано наиболее эффективное решение проблемы обеспечения промышленной чистоты прецизионных изделий.

Ключевые слова: промышленная чистота, долговечность, прецизионные изделия.

Условия для повышения ресурса и надежности машин и механизмов закладываются в процессе обоснования схемных, конструктивных и технологических решений, обеспечиваются в производстве комплексом технологических процессов при обработке, сборке, техническом контроле и испытаниях, реализуются и поддерживаются в эксплуатации [1]. По статистическим данным до 50% всех отказов гидравлических систем самолетов, связанных с выходом из строя насосов, заклиниванием распределительных и регулирующих устройств, повышенным износом ответственных деталей, происходит в результате технологических загрязнений [2]. Ресурс и эксплуатационная надежность наземных и транспортных средств, станков, прессов, строительно-дорожных, сельскохозяйственных и других машин в значительной степени зависят от промышленной чистоты (ПЧ) рабочих полостей их деталей, узлов и агрегатов, гидравлических, топливных, масляных и других систем [3]. В производстве авиационной техники обеспечение ресурса и безотказности жизненно необходимо в силу специфических условий эксплуатации.

1. Особенности обеспечения ПЧ в условиях производства

Одним из наиболее важных мероприятий по обеспечению эксплуатационной надежности и ресурса авиационных агрегатов является выполнение требований по промышленной чистоте деталей, агрегатов и систем в процессе производства [4,5]. Тщательная очистка рабочих полостей машин от производственных и эксплуатационных загрязнений предотвращает интенсивное изнашивание ответственных узлов деталей и агрегатов, При этом резко увеличивается срок их безотказной работы, экономятся дорогостоящие конструкционные материалы и рабочие жидкости, сокращаются расходы на обслуживание и ремонт машин.

Исследование и опытно-конструкторские разработки в области технологической очистки широко проводят в США, Англии, Франции, Японии, а также в нашей стране. Однако проблема высокоэффективной очистки рабочих полостей агрегатов и систем машин вследствие своей сложности пока не получила окончательного решения и остается весьма актуальной.

В высокоразвитых в промышленном отношении странах процессы удаления ликвидов рассматривают как особо важные элементы технологических систем, на одном уровне с процессами лезвийной обработки, шлифования, обработки дав-

лением и т.п., поскольку они значительно влияют на качество выпускаемой продукции. Проблема промышленной чистоты при производстве и эксплуатации машин в настоящее время решается благодаря применению специальных методов и средств очистки деталей, узлов, агрегатов и соответствующим образом организованной системы контроля чистоты.

В настоящее время кроме традиционных способов очистки, таких, как очистка щелочными водными растворами [6], механического и электромеханического удаления заусенцев и снятия фасок, обычной гидроструйной, дробеметной, абразивно-струйной очистки и др., создаются новые технологии очистки поверхности с помощью агрегатов для криогенного удаления заусенцев, очистки ультразвуком, обработки поверхности с помощью плазмы, вакуумной очистки, электролитического, термического и термоимпульсного удаления заусенцев [7] и др.

Многообразие существующих методов (более 120) удаления ликвидов и отделки поверхностей и кромок деталей вызвано тем, что большинство технологий имеют узкую область применения, поскольку разрабатывались под структуру специализированных предприятий стран запада. Методы условно можно разделить на пять групп:

1. Механические методы, при которых удаление ликвидов осуществляется путем механического воздействия на обрабатываемые детали твердых тел, инструментов.

2. Химико-механические методы, при которых происходит одновременное механическое воздействие инструмента и химическое воздействие внешней среды.

3. Химические методы, при которых ликвиды удаляются путем воздействия химически активной жидкой или газовой среды.

4. Электрохимические методы, реализуемые химическим воздействием жидкой среды на материал детали при прохождении электрического тока через электролит.

5. Физические методы, осуществляемые с помощью физического воздействия на материал (ультразвуковых волн, электрических разрядов, электрогидравлических ударов и др.).

Эффективное применение этих технологий возможно при известном составе и характере реальных загрязнений, которые определяются особенностями технологии изготовления, сборки и испытаний машин, состоянием и свойствами используемых технологических и рабочих сред, условиями их применения при производстве, испытаниях и эксплуатации машин.

2. Влияние ПЧ на характеристики машин

Для большинства машиностроительных производств общими и наиболее часто встречающимися видами загрязнений являются: 1 – металлические частицы в виде микро-, макрозаусенцев и частиц обрабатываемого материала; 2 – частиц режущего инструмента; 3 – окислов металлов, компонентов притирочных паст, грата, не удаленных остатков масел, растворителей, жиров, технологических растворов, пыли и песка, влаги, продуктов разложения рабочих и технологических жидкостей; 4 – микроорганизмов и продуктов их деятельности.

Влияние загрязнений на свойства и работоспособность машин зависит от особенностей их конструкции, режимов работы и условий эксплуатации. Поэтому не представляется возможным в полной мере и достаточно обобщенно описать это влияние для многочисленных разновидностей современных машин, тем более

с точными количественными характеристиками. В каждом конкретном случае это требует специальных, нередко длительных испытаний по определению показателей надежности и долговечности отдельных агрегатов и систем машин. Подобные испытания машин стали проводиться лишь в последние годы, а до этого результаты отрицательного влияния загрязнений можно было получить лишь по результатам эксплуатации, т.е. вне сферы производства. Это значительно усложняло и удлиняло по времени процесс доводки изделий из-за отсутствия полной информации о причинах отказов техники.

Твердые частицы создают условия для возникновения дополнительного количества загрязнений при работе машин, при этом процессы износа деталей интенсифицируются и ускоряются процессы окисления и разложения рабочих жидкостей. В тех случаях, когда через плоский или кольцевой зазор между деталями проходит жидкость, для сохранения характеристик машины важно обеспечить постоянство размеров зазора. Засорение зазора может привести к полному прекращению течения жидкости через зазор. Как показали исследования, на интенсивность этого процесса оказывают влияние загрязняющие примеси, находящиеся в жидкости или попавшие в нее с поверхности деталей. Излишние загрязнения быстро выводят из строя фильтрующие элементы топливных и гидравлических фильтров.

Требования к ПЧ полостей для конкретных агрегатов машин устанавливаются на основании изучения влияния размеров, материала и количества частиц загрязняющих примесей на показатели надежности и долговечности наиболее ответственных деталей и узлов. Например, наибольший износ деталей цилиндропоршневой группы двигателей внутреннего сгорания происходит при загрязнении моторных масел твердыми частицами размером 10...25 мкм. Износ посадочных мест коленчатого вала, подшипников и тяжело нагруженных деталей в подвижных соединениях двигателя происходит в результате воздействия частиц загрязнений, соизмеримых по размеру с величиной зазоров в соединениях и толщиной масляной пленки, которая находится в пределах от 5 до 20 мкм [3, 8]. Толщина масляной пленки в подшипниковых узлах коленчатого вала обычно составляет 15...75 % от величины среднего зазора.

Толщина масляной пленки на контактирующих деталях редукторов и других механизмах системы приводов составляет в среднем 2,5 мкм и зависит от действующих нагрузок, угловой скорости вращающихся деталей, вязкости масла и других факторов. Наибольший износ зубчатых колес редукторов наблюдается при размере абразивных частиц загрязнений от 15 до 25 мкм, при этом изнашиваются также и шлицевые соединения.

Требования к чистоте рабочей жидкости гидравлических систем металлорежущих станков увязывают с величиной рабочего давления в системе. При рабочем давлении 1,3 МПа в жидкости не должно содержаться частиц размером более 80 мкм, при 12,5 МПа – более 40 мкм, при 35 МПа – более 15 мкм. В гидросистемах с давлением более 40 МПа не должно быть частиц размером более 10 мкм [9]. Такие же требования и к гидравлическим системам прессового оборудования.

Некоторые отечественные агрегаты гидравлических систем различного назначения имеют точные плунжерные пары, радиальный зазор в которых не превышает нескольких микрон. Величина зазоров в этих агрегатах и определяет требования к очистке рабочих полостей агрегатов и жидкости. При работе авиационных гидросистем должны быть удалены загрязнения размером более 2...5 мкм, а из гидросистем строительно-дорожных и сельскохозяйственных машин, тракто-

ров, автомобилей и морских судов рекомендовано удалять частицы крупнее 15...20 мкм [9].

3. Влияние соотношения размеров частиц и зазоров

Существующие рекомендации по технологическим загрязнениям гидравлических систем и агрегатов хотя и различаются по количественным показателям в пределах 40%, но базируются на следующей гипотезе. Если наибольший размер частиц загрязнений меньше величины зазора (рис.1, поз 1), то частицы загрязнений вместе с жидкостью свободно проходят через него, не вызывая повреждений. Частицы загрязнений, размеры которых значительно больше величины зазора, в зазор не проникают, а могут вызвать частичную закупорку зазора извне (рис 1, поз 3). Частицы с размерами, близкими к величине зазора, являются для узлов и агрегатов машин наиболее опасными (рис 1, поз 2), особенно если их твердость превосходит твердость материалов сопрягаемых деталей. При определенных условиях возможно внедрение частиц в поверхность деталей и заклинивание подвижной пары, что приводит к отказу агрегата и гидравлической системы. Возникновение задиров поверхностей с заклиниванием золотниковых пар является необратимым процессом и возникает в том случае, когда размер частиц больше диаметра зазора, имеющегося в замкнутой системе.

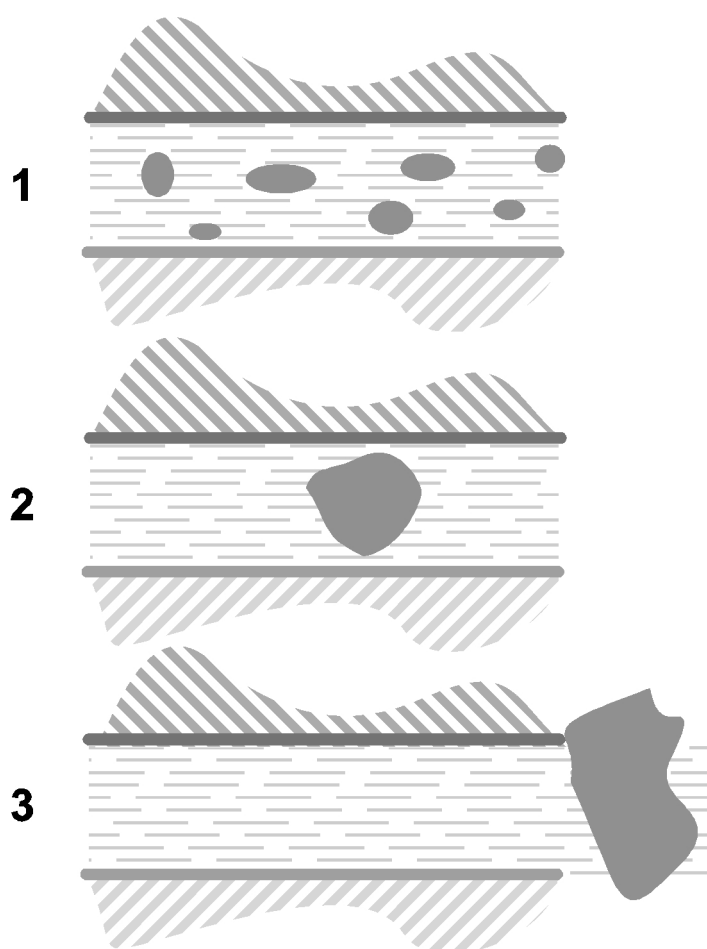


Рис. 1. Соотношение размеров частиц загрязнений и зазоров

4. Требования к степени очистки рабочих жидкостей

В различных публикациях указывают также, что повышение степени очистки рабочих жидкостей в гидравлических системах с 25 до 5мкм позволяет увеличить срок службы: насосов в 10 раз; гидроаппаратуры в 5–7 раз, при этом повышение тонкости очистки рабочих жидкостей гидросистем с 25 до 3мкм обеспечивает увеличение ресурса прецизионных элементов оборудования в 6–8 раз [1,3,8]. Загрязнения, особенно в виде твердых частиц, значительно снижают срок службы машин и нередко вызывают их неисправности и поломки. Приведенные данные свидетельствуют о том, что эти частицы вызывают абразивный износ, интенсивность которого зависит от размеров частиц.

В отечественном машиностроении до сих пор имеют место упрощенные взгляды на очистку деталей и полостей агрегатов от заусенцев и твердых микро- и макрочастиц. В достаточно большом количестве работ приводят противоречивые сведения о связи размера частиц с величиной зазора и износом трущихся пар. В одних литературных источниках указывают: если частицы свободно проходят через теоретический зазор, то они не вызывают повреждений и износа; в других утверждается о безвредности твердых частиц менее 1,0 мкм; некоторые исследователи считают, что даже частицы в доли микрона вызывают износ и способны привести к выходу из строя изделий при возникновении неблагоприятных условий работы (экстремальных нагрузок, температур, скоростей и т. п.).

5. Способы снижения негативных влияний технологических загрязнений на качество продукции, широко применяемые в машиностроении

Наиболее используемым способом является приработка или обкатка изделия, которая предусматривает работу машин на минимальных режимах с последующей разборкой, промывкой и контролем деталей, заменой рабочих жидкостей. Этот путь проверен более чем вековой практикой. Для него характерен интенсивный износ трущихся пар, который может достигать 50% допустимого. Поэтому ликвидация или уменьшение износа на этой стадии обеспечивает значительный рост ресурса изделий.

Кроме того, часто наблюдается завышение класса шероховатости поверхностей на два–три порядка по сравнению с величиной зазора в сопряжении. Это приводит к гиперболическому увеличению стоимости механической обработки, с одной стороны, а с другой – устранение имеющихся карманов способствует улучшению условий смазки, со всеми вытекающими последствиями.

Наиболее целесообразное решение проблемы – создание технологических систем, позволяющих формировать функционально необходимый микрорельеф поверхности деталей. При этом группу отделочно-зачистных технологических процессов рассматривают как единое целое технологических систем и на одном уровне с токарной, фрезерной и другими механическими видами обработки, режимы которой должны назначаться с учетом последующей очистки кромок и поверхностей от ликвидов.

Существуют два подхода к решению проблемы обеспечения чистоты поверхностей и кромок после механических видов формообразования:

- подбор технологий для удаления произвольно образованных ликвидов;
- целенаправленное формирование ликвидов под освоенные на предприятии отделочно-зачистные технологии.

Если рассматривать механическую обработку и удаление заусенцев по от-

дельности, то с точки зрения современного состояния техники никаких проблем возникать не должно и на рынке имеются поставщики, успешно предлагающие то или иное решение. Но в условиях многономенклатурного, мелкосерийного производства, каким является агрегатостроение в авиационной промышленности, обеспечить высокое качество весьма проблематично из-за необходимости применять большое количество методов (более 20).

Примером второго направления может служить разработка фирмы EMAG, которая предлагает в комплексе технологии механической обработки, образующие заусенцы заданных размеров и нужной ориентации, чтобы использовать в последующем электрохимический метод для их удаления, обеспечивая при этом минимальные затраты и высокое качество изделий.

Особенность отделочно-очистных технологий заключается в том, что эффективность проявляется при удалении всех видов ликвидов с поверхностей и кромок у 100% деталей, входящих в автономные гидросистемы. Если в системе останется неочищенной хотя бы одна деталь, то рабочая жидкость перенесет ликвиды по всем элементам, которые повредят наиболее чувствительные к загрязнениям конструкции. Функциональные причины удаления микрозаусенцев и микрочастиц не менее важны, поскольку из-за своих размеров они имеют большую проникающую способность и не удерживаются фильтрами, а абразивный износ при массовом засорении гидросистем резко снижает ресурс прецизионных пар трения [4, 8].

По данным наших исследований загрязнения поверхностей деталей твердыми частицами происходят в процессе механической обработки, включая финишную. В условиях производства авиационных агрегатов, где преимущественно обрабатывают сложнопрофильные детали на обрабатывающих центрах, оснащенных различными инструментальными системами, выбор метода удаления ликвидов осложняется тем, что точение, фрезерование, сверление и другие виды механической обработки образуют заусенцы, микрозаусенцы и микрочастицы. Они могут отличаться по величине и свойствам, а удалить заусенцы необходимо с высокой степенью чистоты и без негативного воздействия на материал детали. Как правило, такие детали имеют труднодоступные поверхности. Чтобы комплексно решить проблему удаления ликвидов после механической обработки, необходимо учесть множество нюансов. При использовании термоимпульсного метода, например, учитывают факторы, связанные с качеством режущих кромок используемых инструментов, требований к радиусам округления кромок деталей, до теплофизических свойств материалов (всего около 20 факторов).

Ниже представлены поверхности золотника после окончательной механической обработки (рис. 2) и после применения отделочно-очистной обработки (рис. 3). Величина микрозагрязнений соизмерима с величиной шероховатости поверхностей. Гранулометрический анализ твердых частиц, обнаруженных на поверхностях деталей и в полостях агрегатов летательных аппаратов, позволил выявить, что разброс размеров металлических частиц – от сотых долей до 200 мкм. Наибольшее количество частиц (более 95%) имеют размеры менее 5 мкм.

Проявление этих загрязнений могут привести к изменениям шероховатости трущихся пар, локальным задирам, интенсивному износу, схватыванию и заклиниванию подвижных пар.

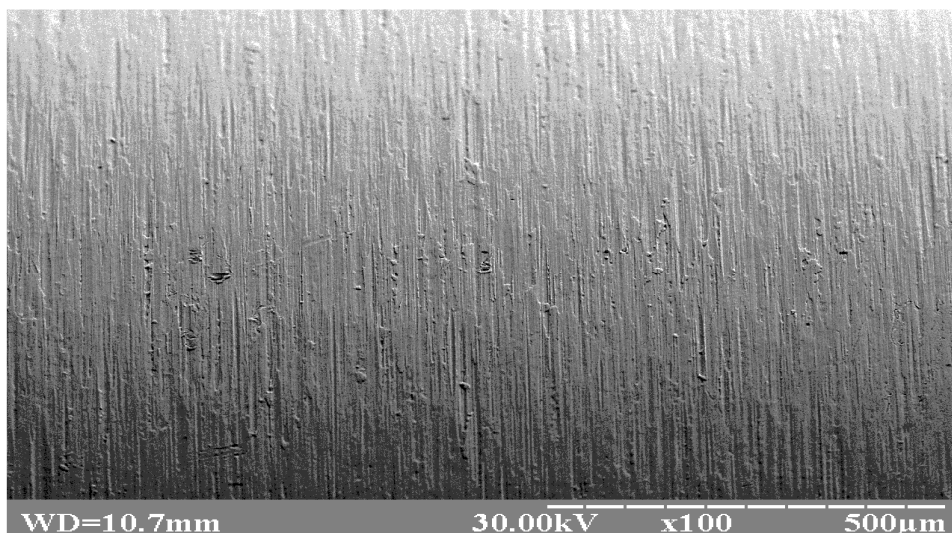


Рис. 2. Типичная поверхность золотника после шлифования

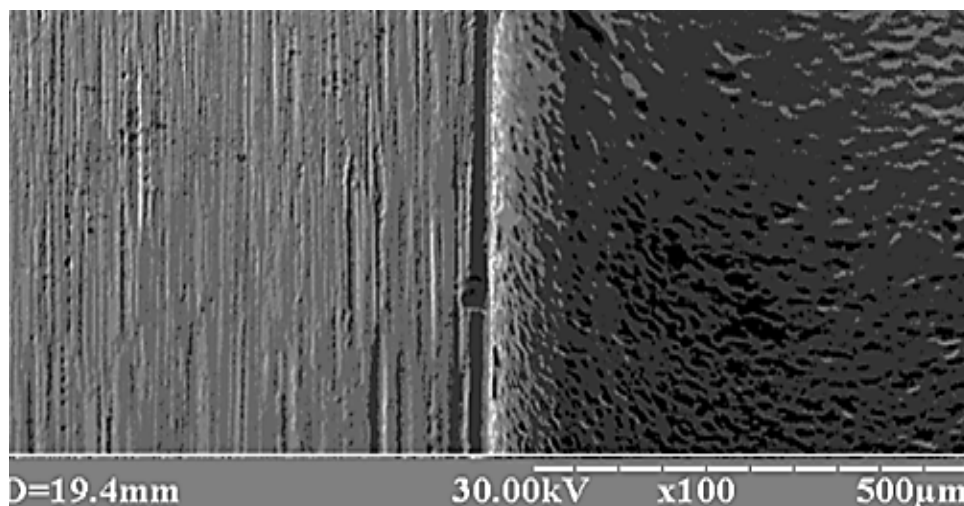


Рис. 3. Поверхность золотника после очистки

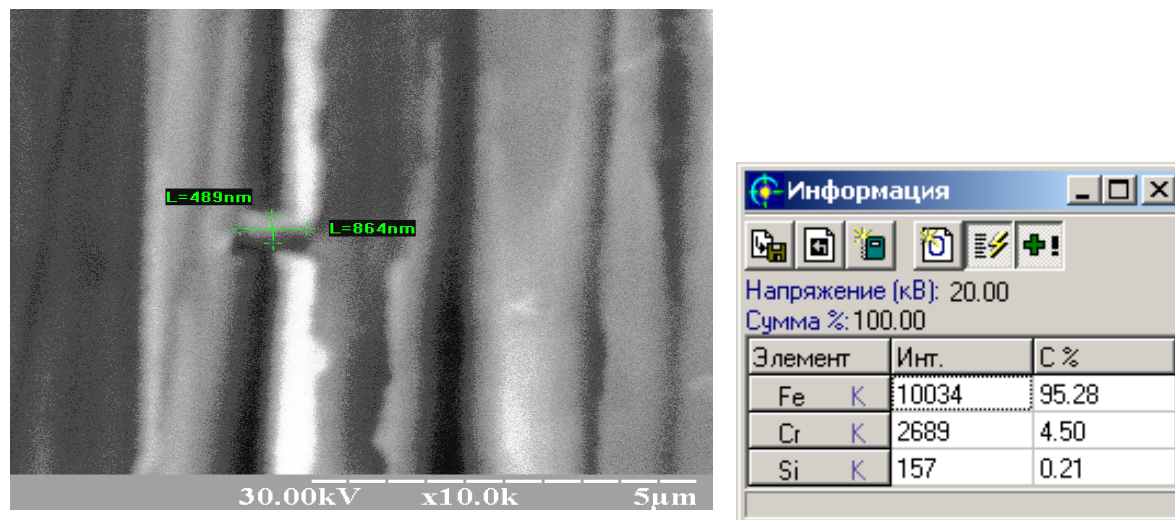


Рис. 4. Типичные микрочастицы материала золотника

На рис. 3, 4, 5 показаны типичные фрагменты поврежденных поверхностей золотников, снятых с изделий после отказов агрегатов. Задиры поверхностей вызваны микрочастицами материала золотника и материалов режущих инструментов.

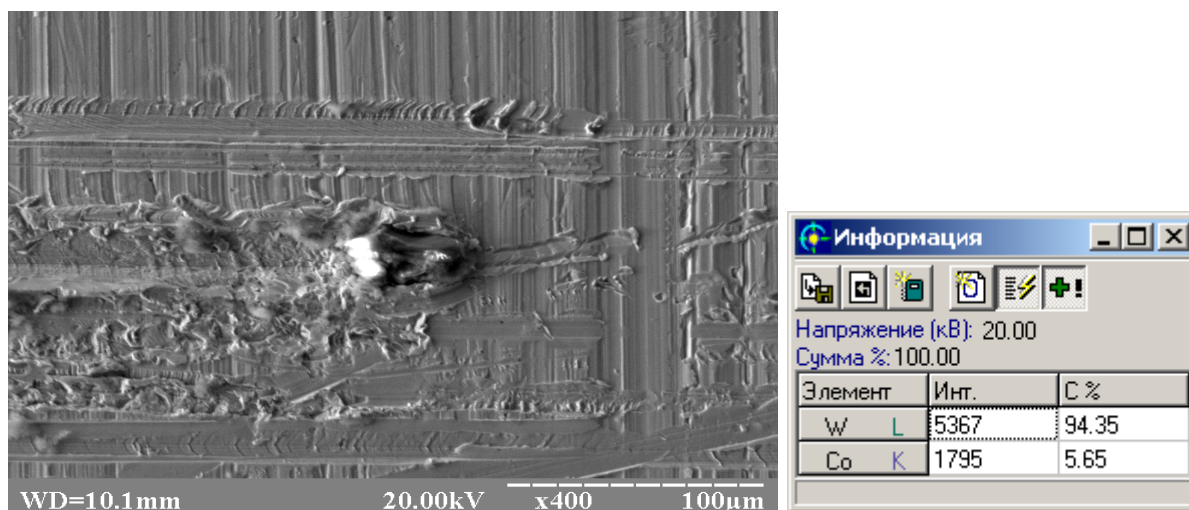


Рис. 5. Повреждение поверхности золотника частицей твердосплавного инструмента

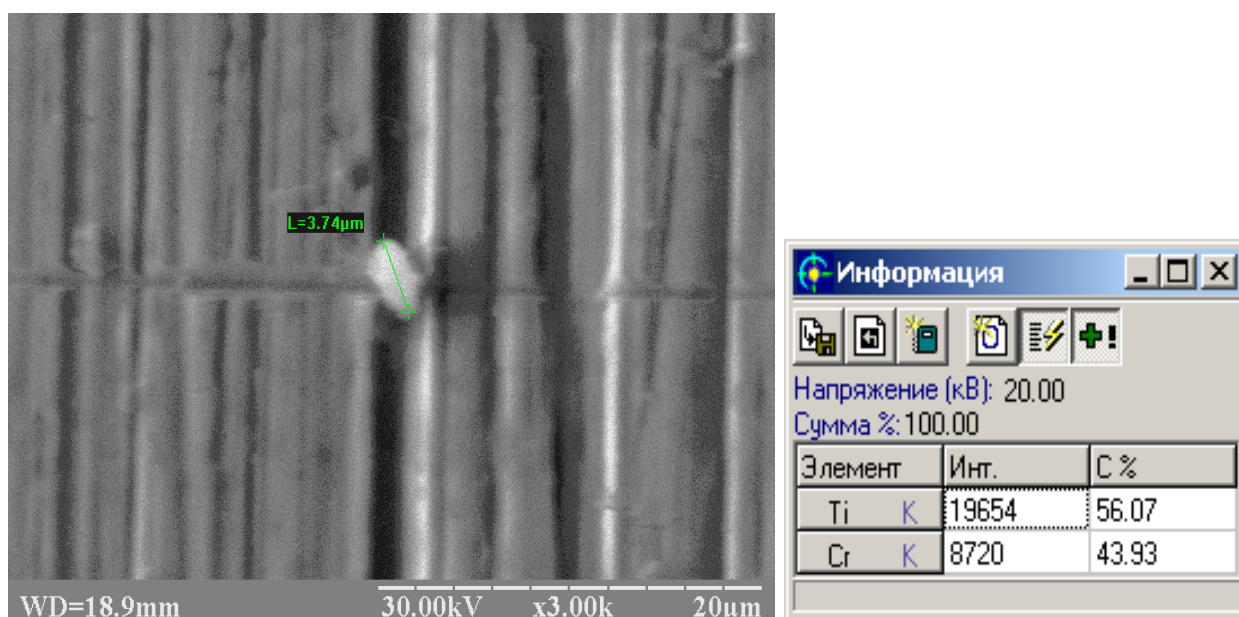


Рис. 6. Частица покрытия твердосплавного инструмента на поверхности детали

Общепринятую модель трущейся пары с равномерным зазором между сопрягаемыми деталями на практике нельзя выполнить из-за погрешностей формы поверхностей, несимметричных нагрузок и т.п. (рис 7).

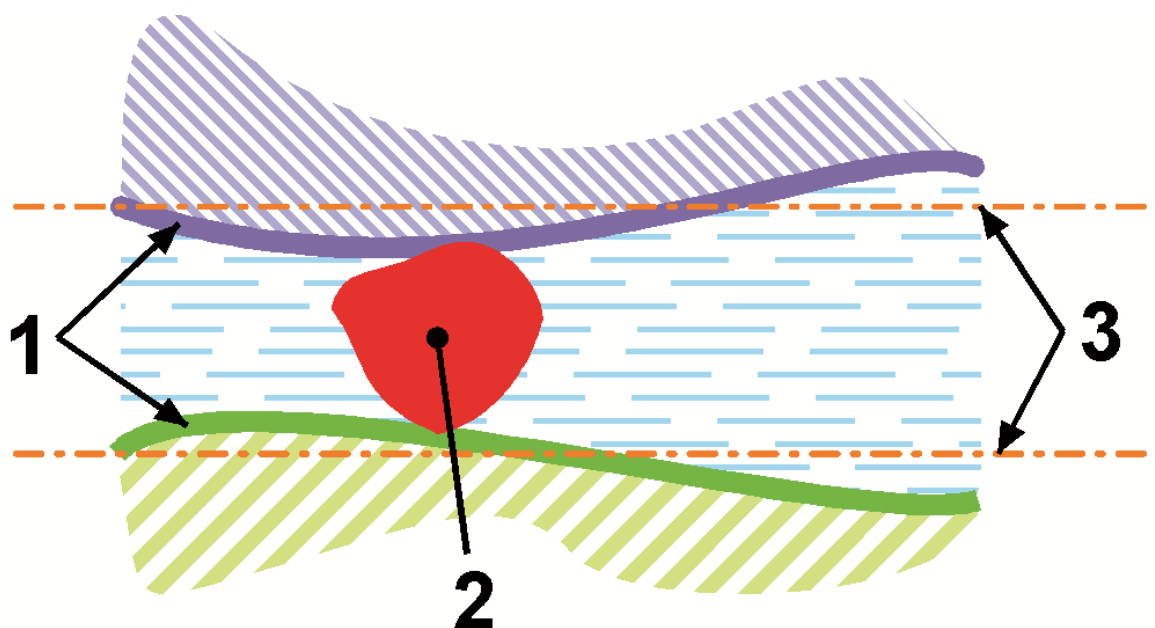


Рис. 7. Изменение зазора в процессе эксплуатации изделия:
1 – отклонения поверхностей сопрягаемых деталей при эксплуатации;
2 – загрязняющие частицы; 3 – эталонная геометрия зазора

Отклонения зазоров могут быть весьма существенными. По этой причине негативные последствия могут создавать любые частицы, независимо от их размеров. Исследования деталей, снятых с эксплуатации агрегатов, доказывают необходимость очистки поверхностей и кромок деталей не только от макроликвидов, но и от частиц микронной величины. Даже микрочастицы в долях микрона (рис. 4) образуют на поверхностях золотников с твердостью более 55 единиц по Роквеллу задиры, которые приводят к отказам прецизионных изделий.

Выводы

В ХАИ более двух десятилетий ведутся исследования, разработки и внедрение технологий и оборудования для отделки поверхностей и кромок сложно-профильных деталей термоимпульсным методом. Реализована адаптация к отечественной структуре производств, что позволило в условиях многономенклатурного производства автоматизировать отделку внутренних и наружных кромок и поверхностей деталей независимо от сложности их конфигураций. При обработке не образуются вторичные загрязнения.

Результаты исследований литературных источников и причин отказов авиационных агрегатов позволяют сделать следующее заключение. Наша промышленность практически не использует отделочно-зачистные технологии для комплексного решения проблемы технологического обеспечения промышленной чистоты при изготовлении машин. Отставание в развитии этой области техники отрицательно сказывается на качестве высокотехнологичной машиностроительной продукции.

Основными причинами такой ситуации являются: отсутствие комплекса технологий и оборудования, обеспечивающего в сложившейся структуре производств обработку 100% деталей автономных узлов, агрегатов или гидравлических

систем машин; отсутствие квалифицированных кадров; низкий уровень качества выпускаемой продукции машиностроения.

Отделочно-зачистные технологии интенсивно развиваются в высокоразвитых в промышленном отношении странах. При этом разработки технологий и оборудования сопровождались разработками соответствующих средств измерений и контроля, а также разработками стандартов. Всё это связано с тем, что обеспечение промышленной чистоты машин и механизмов является одним из наиболее важных мероприятий по достижению высокого ресурса и надёжности.

Список литературы

1. Жданов, А.А. Обзор достижений в области термоимпульсных и термохимических отделочно-очистных технологий. [Текст] / А.А. Жданов, А.В. Лосев // Вопросы проектирования и производства летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 37 (2) – Х., 2004. – С. 109 - 118.
2. Жданов, А.А. Обеспечение качества гидротопливных агрегатов летательных аппаратов за счет новых технологий [текст] / А.А. Жданов // Технологические системы. – 2002. – №5. – С. 9 – 13.
3. Белянин, П.Н. Промышленная чистота машин [Текст] / П.Н. Белянин, В.М. Данилов. – М.: Машиностроение, 1982. – 222 с.
4. Лосев, А.В. Отделочно-зачистные технологии в производстве летательных аппаратов и в машиностроении [Текст] / А.В. Лосев, В.А. Фадеев // Авиационно-космическая техника и технология. – Х.: 2007. – №4. – С. 6–12.
5. Фадеев, В.А. Обеспечение промышленной чистоты изделий машиностроения в производстве с использованием термоимпульсного метода [Текст] / В.А. Фадеев, А.В. Лосев, О. А. Лосева // Резание и инструмент в технологических системах: междунар. науч.-техн. сб. – Х.: Нац. техн. ун – т "ХПИ". – 2006. – Вып. 70. – С. 516 – 512.
6. Smith. George H. Escape to aqueous cleaning [Текст]. (Очистка щелочными водными растворами) / Smith. George H. // Metall Finish. – 1991, № 9. – С. 9–11.
7. Лосев А.В. Сравнительный анализ существующих методов и выбор очистки поверхностей деталей авиационных агрегатов [текст] / А.В. Лосев, А.А. Жданов, Е.Н. Сломинская // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – Х., ХАІ. – 2003. – Вип.. 1. – С. 108–116.
8. Лосев, А.В. Необходимость использования отделочно-зачистных технологий в машиностроении [Текст] / А.В. Лосев, О. А. Лосева, Ю. С. Дмитриевская // Металлообработка. – Спб., 2009. – Вып.1(49). – С. 2 – 9.
9. Сато, Я. Влияние загрязнения рабочих жидкостей на характеристики гидравлических механизмов [Текст] / Я. Сато, М. Сасаки // Юацу гидзюцу (Hydraulics and Pneumatics). – 1975 - vol.14. - p. 27–34.

Поступила в редакцию 24.02.2017.

Стан проблеми промислової чистоти машин і механізмів

Наведено результати дослідження впливу промислової чистоти на експлуатаційні характеристики, довговічність і безвідмовність, машин і механізмів. Показано порівняльний аналіз робіт за таким напрямком в нашій країні і за кордоном. Дослідження знятих з експлуатації агрегатів дозволили визначити деякі джерела технологічних забруднень поверхонь деталей. Визначено найбільш ефективно рішення проблеми забезпечення промислової чистоти прецизійних виробів.

Ключові слова: промислова чистота, довговічність, прецизійні вироби.

Condition of a Problem of Industrial Purity of Machinery and Mechanisms

The paper addresses the research on the effect of the manufacturing microinch accuracy on field-performance data, a lifetime and reliability of machinery and mechanisms. The paper contains the comparative analysis of the numerous researches in Ukraine and abroad. The examination of the taken out of service devices revealed some sources of the manufacturing contamination. As an output paper proposes the most effective solution of the mentioned problem for the precise devices.

Keywords: industrial purity, lifetime, precision products.

Сведения об авторах:

Бычков Игорь Валериевич – д.т.н., проф.каф. 104 «Технологии производства летательных аппаратов», Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харковський авіаційний інститут», Україна.

Лосев Алексей Васильевич – к.т.н., с.н.с.каф. 104 «Технологии производства летательных аппаратов», Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харковський авіаційний інститут», Україна.

Григорович Антон Михайлович – ст.преподаватель каф. 107 «Автомобилей и транспортной инфраструктуры», Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харковський авіаційний інститут», Україна.

Бычков Николай Игоревич – ведущий инженер ИПМАШ им. А.Н. Подгорного, Україна.