

Промышленная чистота машин и механизмов

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»

Приведены результаты исследования влияния промышленной чистоты на эксплуатационные характеристики, долговечность и безотказность машин и механизмов. Описан сравнительный анализ работ по данному направлению в нашей стране и за рубежом. Представлены фрагменты исследований снятых с эксплуатации агрегатов, которые позволили определить некоторые источники технологических загрязнений поверхностей деталей.

Ключевые слова: режущие кромки инструментов, ликвиды, детали, промышленная чистота.

Проблема повышения ресурса и надежности машин носит комплексный характер и закладывается в процессе обоснования схемных, конструктивных и технологических решений, обеспечивается в производстве целостными системами технологических процессов при обработке, сборке, техническом контроле и испытаниях, реализуется и поддерживается в эксплуатации. Одним из наиболее важных и обязательных мероприятий по созданию надежных машин с высоким ресурсом является обеспечение промышленной чистоты поверхностей прецизионных деталей, агрегатов, пневматических и гидравлических систем в процессе производства и поддержание её 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 по причине технологических загрязнений [2].

Ресурс и эксплуатационная надежность наземных и транспортных средств, станков, прессов, строительно-дорожных, сельскохозяйственных и других машин в значительной степени зависят от чистоты рабочих полостей их деталей, узлов и агрегатов, гидравлических, топливных, масляных и других систем [3]. В производстве авиационной техники обеспечение ресурса и безотказности систем жизненно необходимо в силу специфических условий эксплуатации. Одним из наиболее важных мероприятий по обеспечению эксплуатационной надежности и ресурса авиационных агрегатов является выполнение требований к 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, резко увеличивает срок их безотказной работы, улучшает технические характеристики и эксплуатационные свойства машин, экономит дорогостоящие конструкционные материалы и рабочие жидкости, сокращает расходы на обслуживание и ремонт машин.

Исследования и опытно-конструкторские разработки в области технологической очистки широко проводятся 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 рассматриваются как важные элементы технологических систем на одном уровне с процессами лезвийной обработки, шлифования, обработки давле-

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

Многообразие видов ликвидов с различными формами и свойствами, размерами, с разной прочностью сцепления с деталями вызывает различные проблемы по их удалению. Ликвиды можно разделить на две группы, которые могут мешать базированию и установке деталей на станках и влияют на эксплуатационные характеристики, долговечность и безотказность прецизионных механизмов в эксплуатации. В настоящее время кроме традиционных способов очистки, таких как очистка водными растворами [6], механического и электромеханического удаления заусенцев и снятия фасок, обычной гидроструйной, дробеметной, абразивно-струйной очистки, и др., создаются новые технологии очистки поверхности имеют узкую область применения, поскольку разрабатывались под структуру специализированных предприятий стран запада. Методы условно можно разделить на пять групп: механические, химико - механические, химические, электрохимические, физические методы, при которых обработку осуществляют за счет физического воздействия на материал (ультразвуковых волн, электрических разрядов, электрогидравлических ударов и другие).

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

Рассмотрим и проанализируем данные многочисленных литературных источников в области промышленной чистоты. Для большинства машиностроительных производств общими и наиболее часто встречающимися видами загрязнений являются металлические частицы, в виде микро-, макрозаусенцев, частиц обрабатываемого материала и режущих инструментов, окислов металлов, компонентов 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 притирочных паст и т.п.

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, что усложняло и удлиняло по времени процесс доводки изделий из-за отсутствия полной информации о причинах отказов техники.

В подавляющем большинстве публикаций отмечено, что важны размеры, масса и природа загрязняющих частиц, а также соотношение между размером частиц и величиной рабочих зазоров в узлах и агрегатах машин. Твердые частицы создают условия для возникновения дополнительного количества загрязнений при работе машин за счет износа деталей, при этом 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. Излишние загрязнения быстро выводят из строя фильтрующие элементы топливных и гидравлических фильтров.

Требуемую степень чистоты полостей и рабочих сред для конкретных агрегатов и систем машин устанавливают 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 колончатого 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 колончатого 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, изнашиваются также и шлицевые соединения.

Требования к чистоте рабочей жидкости гидравлических систем металло-режущих станков увязываются 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]. Такими же являются 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 5 мкм, а из гидросистем строительно – дорожных и сельскохозяйственных машин, тракторов, автомобилей и морских судов рекомендовано удалять частицы крупнее 10...20 мкм [9]. 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, 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. Частицы загрязнений с размерами, близкими к величине зазора, являются для узлов и агрегатов машин наиболее опасными, особенно если их твердость превосходит твердость материалов, из которых изготовлены детали. При определенных условиях возможно внедрение частиц в поверхность деталей и заклинивание подвижной пары, что приводит к отказу агрегата и гидравлической системы.

В различных публикациях указывают также, что повышение тонкости очистки рабочих жидкостей в гидравлических системах с 25 до 5 мкм позволяет увеличить срок службы: насосов в 10 раз, гидроаппаратуры в пять-семь раз, при этом повышение тонкости очистки рабочих жидкостей гидросистем с 25 мкм до 3 мкм обеспечивает увеличение ресурса прецизионных элементов оборудования в шесть-восемь 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 существуют упрощенные взгляды на очистку деталей и полостей агрегатов от заусенцев и твердых микро- и макрочастиц. В достаточно большом количестве работ приведены 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 - подтверждается безвредность твердых частиц менее 1,0 мкм; некоторые исследователи считают, что даже частицы в долях микрона вызывают износ и способны привести к выходу из строя изделий при возникновении неблагоприятных условий работы (экстремальных нагрузок, температур, скоростей и т. п.). Пути снижения негативных влияний технологических загрязнений на качество продукции широко применяют в машиностроении. Это всем известный процесс приработки или обкатки, который предусматривает работу машин на минимальных режимах с последующей разборкой, промывкой и контролем деталей, заменой рабочих жидкостей. Такой путь проверен более чем вековой практикой, для него характерен интенсивный износ трущихся пар, который может достигать 50% допустимого. Ликвидация или уменьшение износа на этой стадии обеспечивает значительный рост ресурса изделий (в два – три раза) [3]. Применяют также завышение класса шероховатости поверхностей, чтобы получить меньшую величину микронеровностей (на два, три порядка меньше зазора в сопряжении) и, следовательно, меньшие по размерам ликвиды, что приводит к гиперболическому увеличению стоимости механической обработки при ухудшении условий смазки со всеми вытекающими последствиями.

Прогрессивное направление решения проблемы – создание технологических систем, позволяющих формировать функционально необходимый микро-рельеф поверхностей деталей. При этом группу отделочно-зачистных технологий рассматривают как неотделимую часть целостных технологических систем и на одном уровне с токарной, фрезерной и другими механическими видами обработки. Режимы механической обработки 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 применять первый вариант, 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 очистки весьма проблематично из-за необходимости применять большое количество методов (более 20), сложности выбора режимов и др.

Примером второго направления может служить фирма 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 всей системе, и они повредят наиболее чувствительные к загрязнениям элементы конструкций. Функциональные причины удаления микрозаусенцев и микрочастиц не менее важны, поскольку из-за своих размеров они имеют большую проникающую способность и не удерживаются фильтрами. Исследования показали, что влияние ликвидов микронной величины, в том числе продуктов износа, на безотказность и долговечность гораздо весомее, чем предполагалось. Абразивный износ зависит от массовости засорения гидросистем. Увеличение количества частиц в два раза уменьшает ресурс в четыре раза, ухудшение чистоты рабочей жидкости на четыре класса приводит к снижению наработки на отказ в 140 раз, т. е. с 6000 часов до 40 – 50 часов [4, 8].

По данным наших исследований загрязнение поверхностей деталей твердыми частицами происходит в процессе механической обработки, включая финишные виды. В производстве авиационных агрегатов преимущественно обрабатывают сложнопрофильные детали с применением обрабатывающих центров, оснащенных разными инструментальными системами. Выбор метода удаления ликвидов осложняется тем, что точение, фрезерование, сверление и другие виды механической обработки образуют заусенцы, микрозаусенцы и микрочастицы, отличающиеся по величине и свойствам, а удалить эти ликвиды необходимо с высокой степенью чистоты и без негативного воздействия на детали. Как правило, такие детали имеют труднодоступные поверхности. Чтобы комплексно решить проблему удаления ликвидов после механической обработки, необходимо учесть множество нюансов, например, качество режущих кромок используемых инструментов, требований к радиусам округления кромок деталей, структуру материалов и т. п. (все-го около 20 факторов).

На рис. 1, 2 показаны поверхности золотника после окончательной механической обработки и после применения отделочно - очистной обработки. Величина микрозагрязнений соизмерима с величиной шероховатости поверхностей. Гранулометрический анализ твердых частиц, обнаруженных на поверхностях деталей и

в полостях агрегатов летательных аппаратов, позволил выявить то, что разброс размеров металлических частиц - от сотых долей до 200 мкм. Наиболее массовые частицы (более 95%) имеют величину менее 5 мкм. Эти загрязнения могут проявляться в виде изменения шероховатости трущихся пар, локальных задиров, интенсивного износа, схватывания и заклинивания подвижных пар.

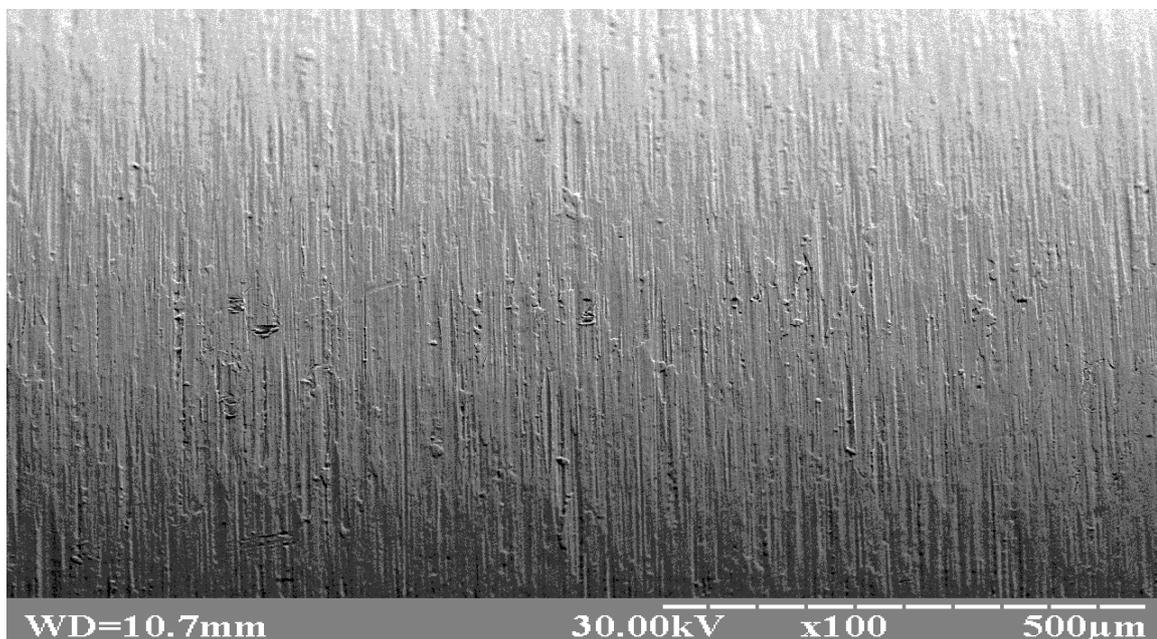


Рис. 1. Типичная поверхность золотника после шлифования

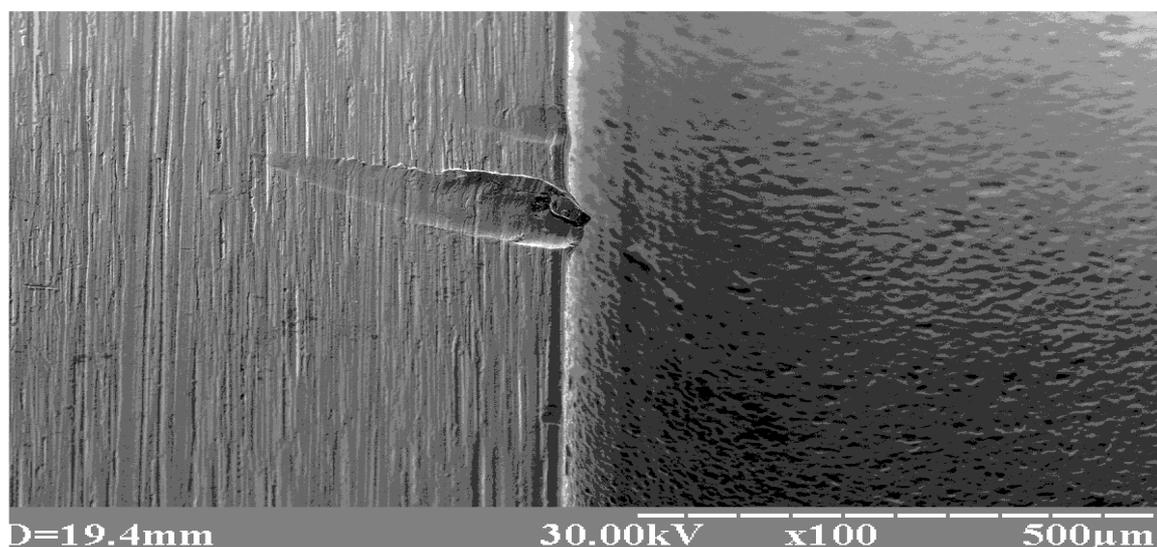


Рис. 2. Поверхность золотника после очистки

Обеспечение промышленной чистоты агрегатов в производстве и эксплуатации в значительной степени зависит от определения источников загрязнения. На рис. 3 - 5 показаны типичные фрагменты поврежденных поверхностей золотников, снятых с изделий после отказов агрегатов. Задир поверхности вызваны микро-частицами материала золотника и материалов режущих инструментов.

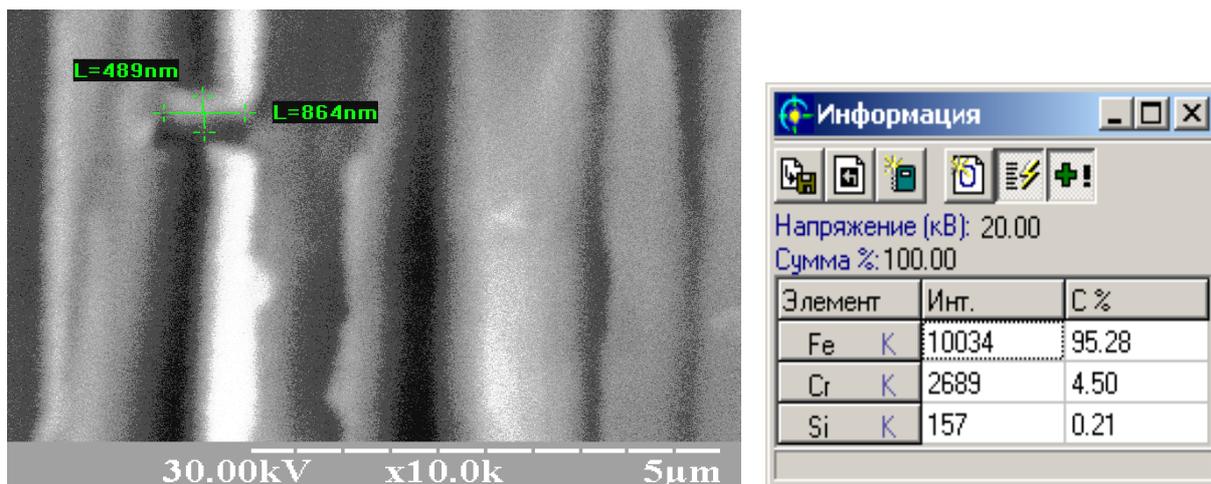


Рис. 3. Типичные микрочастицы материала золотника

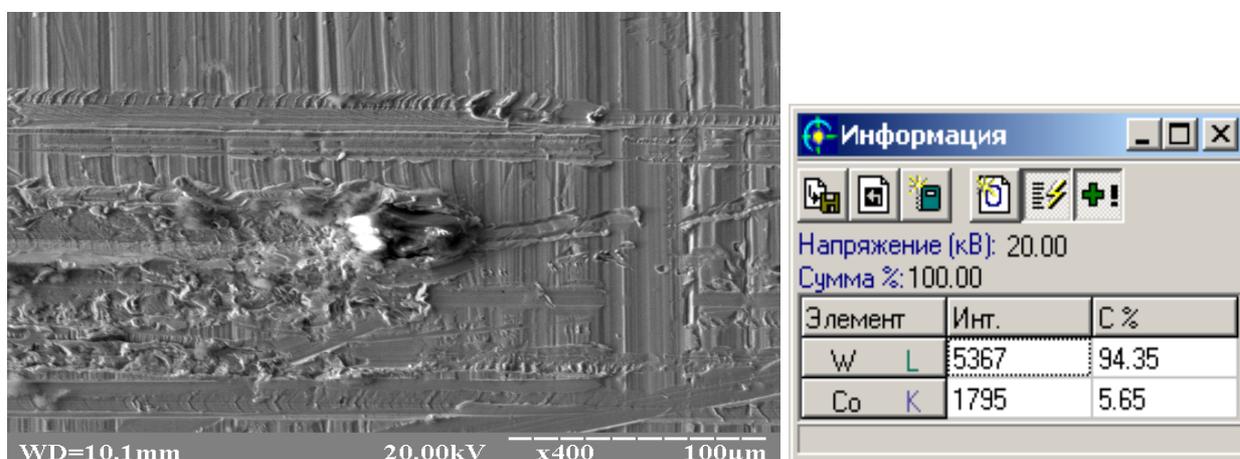


Рис. 4. Повреждение поверхности частиц твердосплавного инструмента

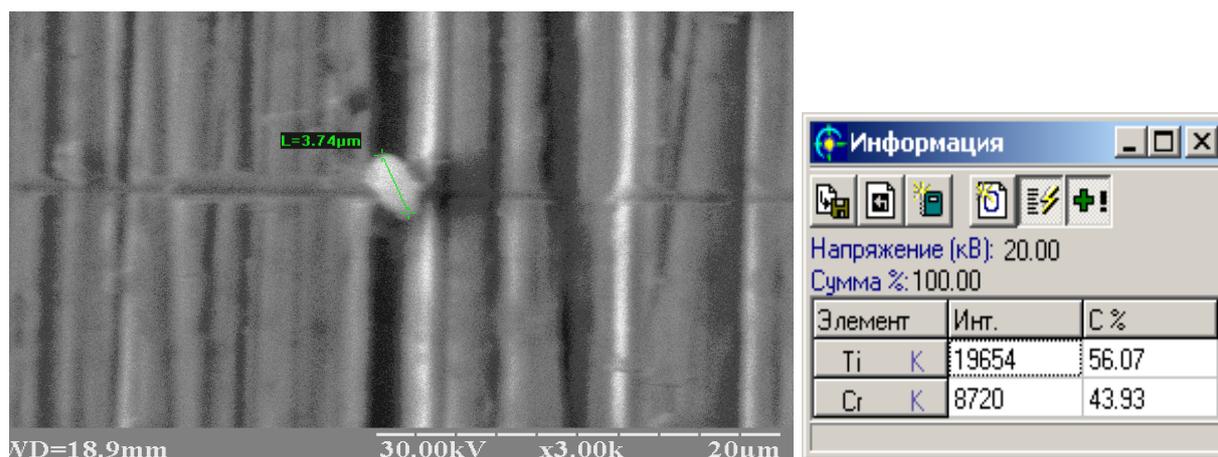


Рис. 5. Частица покрытия твердосплавного инструмента

Общепринятая модель трущейся пары с равномерным зазором между сопрягаемыми деталями на практике не осуществима из-за погрешностей формы поверхностей, несимметричных нагрузок и т.п. Размеры зазоров колеблются от

нуля до максимума. По этой причине негативные последствия могут создавать все частицы независимо от 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. 3) образуют задиры на поверхностях золотников с твердостью более 55 единиц по Роквеллу, которые приводят к отказам прецизионных изделий.

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. Причем разработки технологий и оборудования сопровождаются 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 безотказности.

Список литературы

1. Жданов, А. А. Обеспечение качества гидротопливных агрегатов летательных аппаратов за счет новых технологий [Текст] / А. А. Жданов // Технологические системы. – 2002. – №5. – С. 9 – 13.

2. 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.

3. Белянин П. Н. Промышленная чистота машин [Текст] / П. Н. Белянин, В. М. Данилов. – М.: Машиностроение, 1982. – 222с.

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: сб. научн. тр Нац. аэрокосм. ун-та им.Н. Е. Жуковского «ХАИ». – 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.: НТУ «ХПИ». – 2006. – Вып.70. – С. 516 – 525.

6. Smith, George H. Escape to aqueous cleaning [Текст]. (Очистка щелочными водными растворами) / George H.Smith // 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. – № 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 31.08.2015

Промислова чистота машин і механізмів

В статті наведено результати дослідження впливу промислової частоти на експлуатаційні характеристики, довговічність і безвідмовність машин і механізмів. Показаний порівняльний аналіз робіт по даному напрямку в нашій країні і за кордоном. Наведено фрагменти досліджень знятих з експлуатації агрегатів, які дозволили визначити деякі джерела технологічних забруднень поверхонь деталей.

Ключові слова: ріжучі кромки інструментів, ліквіди, деталі, промислова чистота, гідравлічні агрегати.

Industrial cleanliness of machines and mechanisms

The research results of the industrial purity on the operation performance, durability and reliability of machines and mechanisms are given in the article. The comparative analysis of works to this direction in our country and abroad is shown. Fragments of studies taken out of use units are given and this allowed to define some sources of technological contamination on the surfaces of the parts.

Keywords: cutting edge instruments, barbs, parts, industrial cleanliness, hydraulic power units.