

Проблема скругления кромок

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

Приведены результаты исследований влияния шероховатости поверхностей, образующих кромки, на геометрические размеры её радиуса скругления, а также влияния шероховатости кромок на долговечность детали и сборки в целом. Выполнен сравнительный анализ методов обработки кромок и определен наиболее рациональный из них для производства авиационной техники.

Ключевые слова: кромка, ликвид, заусенец, шероховатость поверхности, размерное скругление, прецизионная обработка, термоимпульсный процесс.

1. Постановка проблемы

Выполнение требований к долговечности и безотказности изделий является основополагающим условием в производстве и эксплуатации авиационной техники. Дефекты кромок частный случай дефектов поверхностей являются концентраторами напряжений и способствуют разрушению самих деталей и трущихся поверхностей. Известно, что кромка детали и любого другого предмета, является результатом пересечения двух поверхностей и теоретически должна представлять собой линию. Контур этой линии определён формой и взаимным расположением пересекающихся поверхностей. Реальная кромка всегда является не линией, а переходной поверхностью неправильной геометрической формы, размеры которой зависят, в том числе, от шероховатости образующих её поверхностей. Повышенная шероховатость режущих кромок инструмента и прецизионных деталей снижает их прочность. Выступы микронеровностей на кромках из-за малой их механической прочности разрушаются в начальный период работы. Впадины микронеровностей являются местом зарождения микротрещин, разрастающихся в процессе работы и приводящих к образованию сколов. В зависимости от функционального назначения деталей форма кромок может быть произвольной или со строго заданными размерами.

Обработка кромок деталей является важным процессом производственного цикла, включающая в себя такие операции: притупление кромок произвольным радиусом, размерное скругление, очистку от заусенцев и технологических загрязнений и др. От состояния отсечных кромок в золотниковых и плунжерных парах во многом зависит надежность работы гидротопливных агрегатов, стабильность их технических характеристик. Проблема функционально необходимой обработки кромок деталей, в том числе на золотниках, плунжерах, гильзах, лабиринтных уплотнениях, металлорежущего инструмента, а также очистки от технологических загрязнений актуальна для отечественного и зарубежного машиностроения.

Скругление кромок металлоконструкций является настолько острой и многофункциональной задачей, что ее решением постоянно занимаются научные общества и отдельные производственные подразделения, где технологи разрабатывают частные решения под свои узкоспециализированные задачи. Внедрение этой стадии технологической обработки сопряжено с решением совокупности производственных, социальных и экономических проблем. Рассмотрим основные причины, по которым необходимо обрабатывать кромки, - функциональные, эргономические и эстетические.

1. Функциональные – это предотвращение отказов гидравлических систем, связанных с заклиниванием распределительных и регулирующих устройств, а также повышенного износа ответственных деталей, происходящего при попадании в зазоры трущихся пар твердых металлических частиц, затруднения при сборке и позиционировании, снижение усталостной прочности и т.п. Частицы заусенцев или материала инструментов, попадая в гидравлическую либо пневматическую систему, переносятся рабочей средой по всей системе, нарушая работу наиболее чувствительных её элементов, - манжетных уплотнений, золотниковых, плунжерных пар, подшипников, зубчатых передач, деталей замков, клапанов и др [1]. Заусенцы вызывают завихрения в потоке газа или жидкости, нарушая равномерность потока. Слой металла с микротрещинами после обработки резанием может служить причиной хрупкого излома элементов кромок. Долговечность покрытий напрямую зависит от качества подготовки кромок деталей.

Кроме того, загрязнения рабочей жидкости изменяют ее свойства, что снижает смазывающие способности. Засорение фильтров приводит к кавитации в насосе, вспениванию и недостаточной подаче рабочей жидкости. Наличие металлических частиц способствует окислению смазки, образованию смолистых веществ, которые, осаждаясь на поверхностях, интенсифицируют процесс засорения фильтров, зарастивания зазоров, что вызывает повышение давления в линии, вибрации машины, неплотностям соединений и утечкам жидкости. Все это сопровождается повышением ее температуры и снижением вязкости и приводит к уменьшению толщины масляной пленки. Очевидно, что взаимовлияющие процессы, происходящие в гидравлических системах машин, при нарушении условий работы усиливают негативные явления.

2. Эргономические – это предотвращение травматизма в процессе работы и повреждения поверхностей при транспортировке.

3. Эстетические – улучшение товарного вида изделий и сцепления с лакокрасочными и другими покрытиями.

Проблема повышения безотказности и ресурса машин тесно связана с обеспечением функционально необходимого качества обработки поверхностей и кромок деталей. Поэтому выполнение операций зачистки, очистки и округления кромок прецизионных деталей гидротопливных агрегатов с заданными геометрическими параметрами и чистотой поверхности актуально, а качество выполнения их влияет на эксплуатационные характеристики изделий и требует эффективного решения. 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. При исследовании технологических загрязнений поверхностей деталей установлено, что все виды механической обработки, в основе которых лежат процессы резания, сопровождаются образованием на поверхностях и кромках помимо заусенцев еще микрочастиц и микрозаусенцев из обрабатываемого материала и инструмента.

Установлено, что эффект от применения отделочноочистных технологий достигается при 100%-ной обработке деталей, входящих в замкнутую систему машины или автономного агрегата. В настоящее время разработано около 120 отделочнозачистных методов, что свидетельствует о важности и актуальности этого класса технологий и одновременно о сложности решения проблемы. Исходя из физико-химического воздействия на материалы при обработке существующие методы зачистки, отделки и очистки кромок деталей можно разделить на пять

групп: механические, химико-механические, химические, электрохимические, физические. Из всего многообразия технологий эффективно использовать в производстве агрегатов аэрокосмической техники можно только единицы, которые не образуют вторичных ликвидов, не изменяют геометрических размеров, не вызывают структурных изменений в материале деталей, обеспечивают экологическую чистоту, позволяют механизировать и автоматизировать процесс обработки, а также обеспечить безотказность и долговечность изделий в эксплуатации [2].

2. Выбор метода обработки кромок для агрегатного производства

Рассмотрим обработку кромок, которая включает в себя удаление заусенцев, очистку от технологических загрязнений, притупление произвольным радиусом и размерное округление.

На рис. 1 показаны кромки шестерни топливного насоса после механической обработки и их округления различными методами [3].

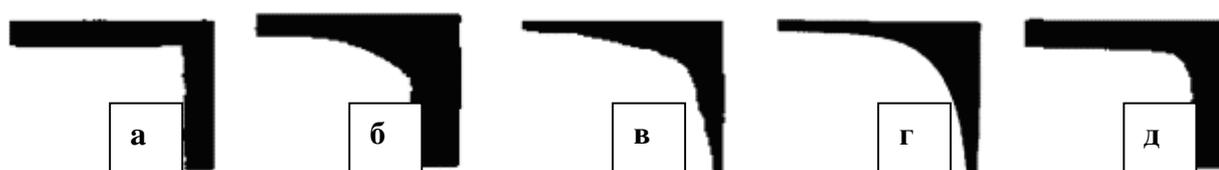


Рис.1. Форма кромки: исходная (а), скругление щёткой (б), электрохимическим процессом (в), абразивной лентой (г), магнитно-абразивной обработкой (д)

Ни один из представленных выше методов не гарантирует качество кромок по обеспечению размеров и формы. Кроме того на основе методов, в которых используется процесс резания металла, образуются вторичные, более мелкие ликвиды и потому более опасные, поскольку они обладают повышенной проникающей способностью.

Если качество зачистки и безразмерного округления кромок в большинстве случаев удовлетворяет требованиям машиностроения, то стабильное получение функционально необходимого (в том числе близкого к нулю) радиуса на кромках: золотниковых и плунжерных пар, лабиринтных уплотнений, нагнетательных деталей топливоподкачивающих насосов и т.п. является проблемой. На чертежах таких деталей указывают требования: “Кромка должна быть острой или кромку не притуплять”, что является неопределенностью и может иметь субъективную оценку, затрудняющую контроль и выпуск качественной продукции. Это наблюдается и в производстве режущего инструмента (обработке режущих кромок).

Известно, что реальная кромка всегда представляет собой не линию, а переходную поверхность неправильной геометрической формы, которая суммирует погрешности формы и микрорельефа пересекающихся поверхностей. На рис. 2 изображена типичная кромка после механообработки. Чтобы получить равномерное округление кромок по всему контуру детали, необходимо исключить погрешности формы, вызванные дефектами пересекающихся поверхностей. На рис. 3 показано качество поверхности кромок в зависимости от радиуса скругления при одинаковом исходном состоянии образующих кромки поверхностей. Очевидно, что радиус, равный трем микрометрам, недостаточен для устранения микронеровностей кромки, поэтому для получения заданного качества и размеров поми-

мо выбора метода необходимо обеспечить исходное состояние кромкообразующих поверхностей. Для очистки и скругления кромок в основном используют безразмерные методы обработки, - галтовку, виброабразивный, экструзию, электрохимию, механические ручные с применением инструмента в виде щеток, шаберов, шарошек и др. Размерная обработка кромок в условиях производства аэрокосмической техники, в котором преобладает мелкосерийное, многономенклатурное, постоянно обновляющееся производство, представляет собой сложную задачу. Для её решения необходимо оптимизировать многочисленные взаимовлияющие факторы, характеризующие детали, оборудование и производство[4].

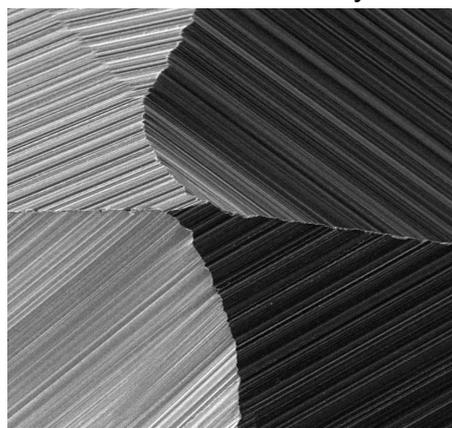


Рис. 2 x120. Типичная кромка сверла

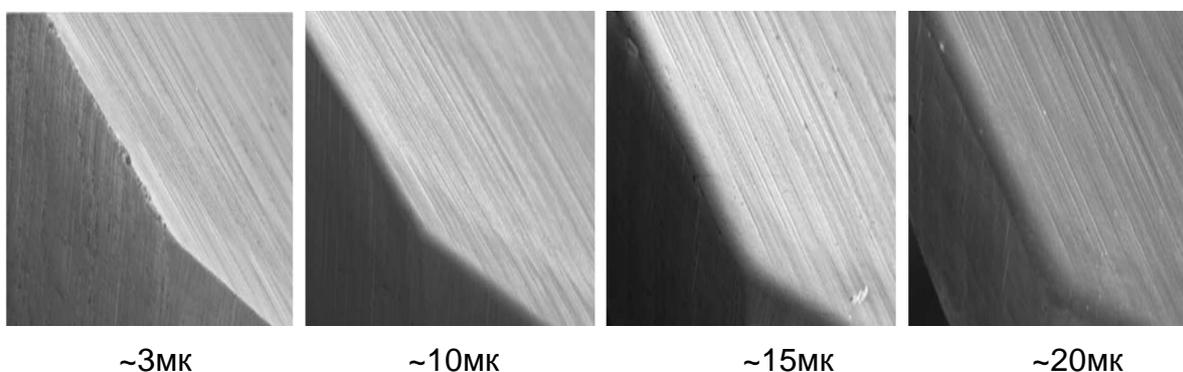


Рис. 3 Кромки сверла с различными радиусами скругления

Исходя из характеристики агрегатного производства необходимы универсальные методы, позволяющие обрабатывать обширную номенклатуру деталей из различных материалов, включая труднообрабатываемые, при минимальных затратах на подготовку производства, при этом должны быть исключены: образование вторичных ликвидов, шаржирование поверхностей, межкристаллическая коррозия и многие другие факторы, влияющие на безотказность, долговечность и сохраняемость изделий. Из всего многообразия методов удовлетворяют перечисленным условиям всего несколько: термохимический, термоимпульсный, ультразвуковой, струями жидкости под высоким давлением, электрохимический. Ультразвуковым методом и струями жидкости качественно очищают поверхности и кромки от микрочастиц и микрозаусенцев, а скругление кромок происходит, если при этом используют абразив. Но применение абразива приводит к шаржированию поверхностей. Электрохимический метод требует большого количества оснастки, которая окупается при обработке партии деталей более 5000 штук [5]. Термохимический метод может быть использован на промежуточных операциях из-за последующего химического травления оксидов.

Наиболее приемлемым является термоимпульсный метод, который в сочетании с ультразвуковой очисткой поверхностей от органических загрязнений позволяет автоматизировать процессы удаления заусенцев, включая микроликвиды, и округления кромок независимо от сложности их конфигураций [5,6].

3. Исследование состояния кромок после термоимпульсной обработки

В статье [6] приведен теоретический анализ процесса термоимпульсного округления модели кромки, из которого следует принципиальная возможность управляемого получения заданного радиуса кромок деталей из металлов и сплавов. Там же представлены факторы, влияющие на процесс обработки. Экспериментальные исследования термоимпульсного процесса скругления кромок плунжера топливного насоса для дизельного двигателя показали, что обеспечение требуемого качества обработки достигается корректированием процесса механообработки. Другими словами, технологический процесс механообработки должен разрабатываться с учетом возможностей последующего процесса скругления кромок. Независимо от угла пересечения поверхностей образуется кромка с ярко выраженной пилообразной поверхностью. Причем величина микронеровностей может на порядок превышать микронеровности кромкообразующих поверхностей (рис. 2). На малом радиусе заметны дефекты (в виде рваной поверхности, рис. 3). Очевидно, чтобы получить равномерную кромку заданного радиуса скругления необходимо обеспечить шероховатость пересекающихся поверхностей, меньшую, чем радиус скругления.

Использование термоимпульсного (физического) метода скругления влечет за собой ряд обязательных условий. Наиболее важным являются стабильные исходные параметры объектов обработки, так как от них зависят повторяемость и точность радиусов скругления. При термоимпульсной обработке в качестве рабочего инструмента выступает горючая газовая смесь. Теоретические исследования термоимпульсной обработки кромок и последующие экспериментальные работы показали возможность получения стабильного радиуса скругления. На рис. 4 показана типичная кромка золотника, образованная шлифованными поверхностями, с микрозаусенцем до и после термоимпульсного скругления радиусом 50 мкм. При правильно выбранных режимах изменений структуры материалов не наблюдалось как на поверхностях деталей, так и на кромках при скруглении радиусом менее 50 мкм.

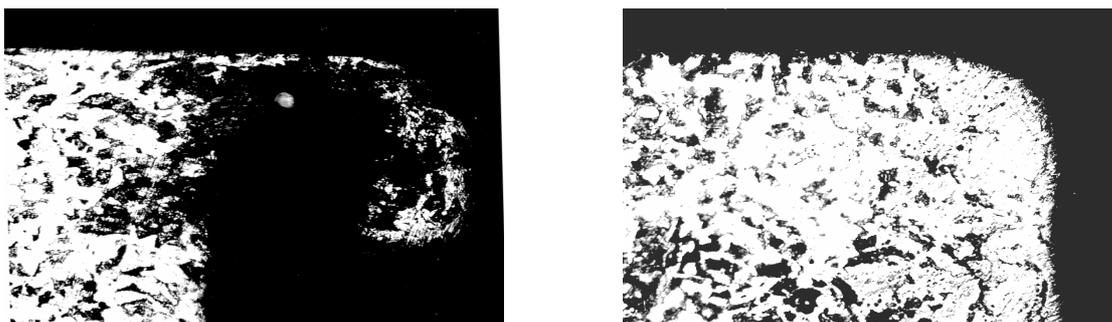


Рис. 4. Типовая кромка золотника до и после скругления

Исследования показали, что радиус скругления зависит только от характеристики источника тепла и теплофизических свойств материала обрабатываемой детали. На рис. 5 показан типичный пример скругления кромки детали из углеродистой стали радиусом 10 мкм.

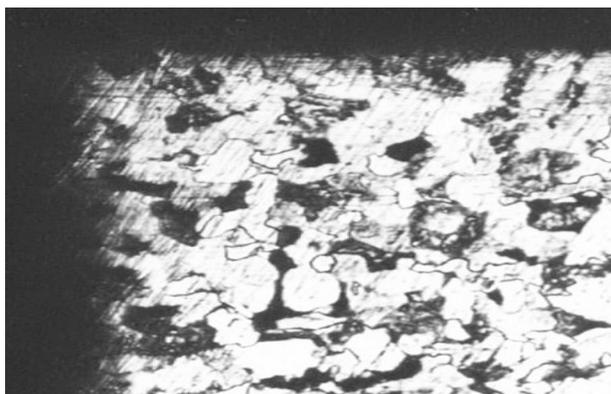


Рис. 5. После термоимпульсной обработки

Физико-математическая модель процесса термоимпульсной обработки деталей позволяет исследовать нагрев элементов детали, в том числе кромок, при импульсном подводе тепла. Эта модель дает возможность изучить условия нагрева поверхностей как в каналах разных размеров, так и наружных поверхностей деталей при условии оплавления острых кромок различной величины путем варьирования интервала

времени между тепловыми импульсами и автоматизировать процесс выбора режимов обработки. Исследования температурных полей кромок деталей с учетом особенностей воздействия ударных волн при детонационном сгорании газовых смесей позволяют выбрать оптимальный состав компонентов горючей смеси по химическому составу и процентному содержанию окислителя с учетом теплофизических свойств материалов, размеры каналов и пустот, образованных поверхностями рабочей камеры, оснасткой и деталями. Теоретические и экспериментальные результаты исследований имеют удовлетворительную для практики сходимость. На рис. 6 показаны типовые температурные поля заусенца (а) толщиной $0,1 \times 10^{-3}$ м и кромки (б) на такой же глубине во времени.

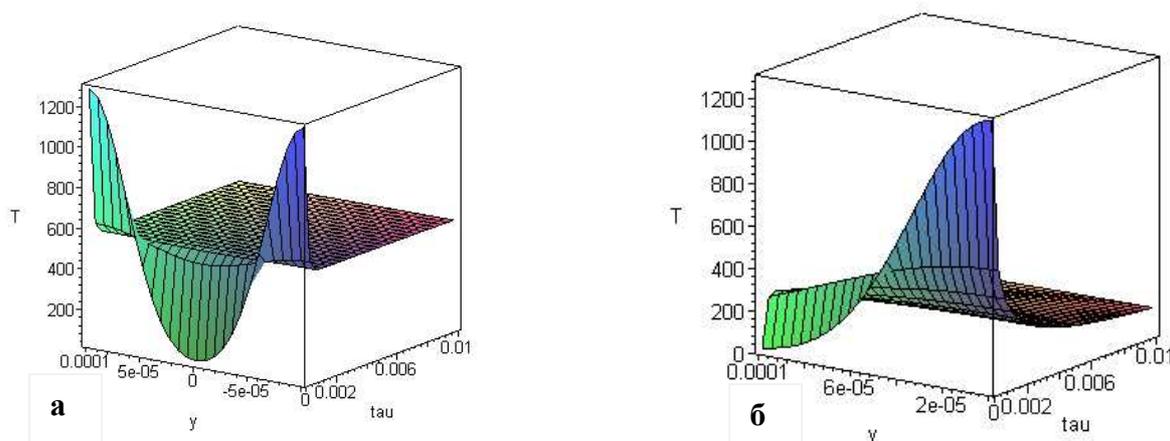


Рис.6. Типичные температурные поля заусенца и кромки

Теоретические и экспериментальные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Термоимпульсный метод позволяет эффективно удалять заусенцы, микроликвиды в виде частиц и быстроизнашиваемой части микронеровностей на поверхностях деталей, размерно скруглять кромки прецизионных деталей малым радиусом (менее 50 мкм) в мелкосерийном и массовом производстве.
2. Можно получать повторяемость результата обработки путем обеспечения стабильных исходных параметров детали.
3. Метод обеспечивает чистоту и экономичность по сравнению с другими методами обработки.
4. Возможно автоматизировать процесс.

Список литературы

1. Жданов А.А. Обеспечение качества гидротопливных агрегатов летательных аппаратов за счет новых технологий / А.А.Жданов // Технологические системы.- 2002.- №5ю- С.9 – 13.
2. Посев А.В. Необходимость использования отделочно-зачистных технологий в машиностроении / А.В. Посев, О. А. Посева, Ю. С. Дмитриевская // Металлообработка. – Спб., 2009. – Вып.1(49). – С. 2 – 9.
3. Барон Ю.М. Влияние состояния кромок лезвий на эффективность режущих инструментов / Ю.М. Барон // Инструмент и технологии. – Спб., 1997. – Вып. 5. – С. 1 – 11.
- 4.Фадеев В.А. Обеспечение промышленной чистоты изделий машиностроения в производстве с использованием термоимпульсного метода / В.А.Фадеев, А.В. Посев, О. А. Посева // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. –Х.: НТУ "ХПИ". – 2006. – Вып. 70. – С. 516 – 512.
5. Посев А.В. Повышение эффективности зачистки деталей пневматических и гидротопливных систем при использовании термоимпульсного метода: дис. канд. техн. наук: 05. 02. 08 / А.В.Посев. – Х., 1995. – 210 с.
6. Посева О. А. Обработка кромок деталей термоимпульсным методом / О. А. Посева, А.В. Посев // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. научных трудов Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 42. – Х., 2009. – С. 120 – 126.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Костюк Г. И. Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского, Харьков.

Поступила в редакцию 22. 02.2010

Проблема скругления кромок

Наведено результати досліджень впливу шорсткості поверхонь, що утворюють кромку, на геометричні розміри її радіуса скруглення, а також впливу шорсткості кромок на довговічність деталей та агрегатів. Виконано порівняльний аналіз методів оброблення кромок та визначено найбільш раціональний із них для виробництва авіаційної техніки.

Ключові слова: кромка, лівід, задирка, шорсткість поверхонь, розмірне скруглення, прецизійне оброблення, термоімпульсний процес.

Edge rounding problem

The article deals with the research results that are showing how roughness of surfaces, that form edges, influence upon spherical radius geometry, and edges roughness influence on a parts and assembly lifetime. Comparative analysis of edge treating methods is accomplished and the most rational method for aeronautical engineering is specified.

Keywords: edge, barb, burr, surface roughness, dimensional rounding, precision machining, thermal impulse process.