

Обработка кромок деталей термоимпульсным методом

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

Приведены результаты теоретических исследований влияния теплофизических свойств материалов, геометрических размеров элементов кромки и характеристики источника тепла на температурное поле модели кромки. Установлены факторы, влияющие на регулирование размера радиуса скругления кромок.

Ключевые слова: кромка, ликвид, импульсный нагрев, плотность теплового потока, длина и толщина ликвида, аналитическая модель термоимпульсного процесса.

Введение

Обработка кромок включает в себя удаление заусенцев, притупление произвольным радиусом, размерное скругление, очистку от технологических загрязнений. Качество отделки кромок и поверхностей прецизионных деталей влияет на эксплуатационные характеристики гидротопливных агрегатов: станков, двигателей внутреннего сгорания, аэрокосмической и другой техники. Особое место занимает обработка кромок режущего инструмента и кромок золотниковых пар, в которых идеальным является радиус, равный нулю.

1. Состояние вопроса

В настоящее время существуют более ста методов отделки и зачистки кромок и поверхностей деталей. Наиболее перспективным представляется термоимпульсный метод, в основу которого положен импульсный нагрев и плавление удаляемых с деталей элементов (ликвидов). Источниками тепла могут быть лазерные установки, плазмотроны, высокоэнергетические газовые струи, ТВЧ и т.п.[1,2]. Для этого метода не имеют значения твердость и прочность обрабатываемого материала. Основными факторами, влияющими на процесс плавления ликвидов, являются теплофизические свойства материалов, геометрические размеры, мощность источника тепла и время его действия. Широкое применение получила обработка в продуктах сгорания газовых смесей [3,4], где инструментом является газ. Известны экспериментальные исследования притупления кромок оплавлением на углах от 15 до 90°, в которых показано, что притупить кромку можно только на углах до 60° [3]. В работе [1] приведен численный анализ удаления заусенца в форме клина и установлено, что технологически возможным и целесообразным является способ разрушения заусенца посредством расплавления. Эти результаты хорошо согласуются с выводами других исследователей. В работе [5] приведены результаты исследования нагрева моделей заусенцев в виде неограниченных пластин, длина и ширина которых значительно больше толщины, где установлено, что с увеличением толщины необходимо увеличивать мощность источника тепла. При этом увеличивается температура поверхности детали. Чтобы минимизировать нагрев детали, процесс термоимпульсной обработки осуществляется при наименьшей мощности источника тепла и оптимальном времени нагрева. Установлено, что оно соответствует времени выравнивания температурного поля по толщине неограниченной пластины. Эти результаты положены в основу технологий термоимпульсной очистки и отделки поверхностей и кромок деталей.

Для оценки принципиальной возможности размерной обработки кромок термоимпульсным методом выполним анализ известных исследований [5] применительно к их скруглению и определим условия, влияющие на режимы обработки.

2. Выбор исследуемой модели кромки детали

Исследуем влияние толщины и длины удаляемых элементов на параметры процесса обработки с учетом следующих дополнительных условий: процесс обработки должен выполняться при минимальных затратах энергии; в качестве модели ликвида принять неограниченную пластину, а в качестве модели кромки – набор пластин различной толщины; нагрев осуществляется импульсным источником тепла, равномерно распределенным на ограниченном участке; время стабилизации одномерного температурного поля пластины – оптимальное время процесса обработки.

Известно, что время выравнивания температурного поля ликвидов по толщине зависит только от теплофизических свойств материалов и геометрических размеров [4,5]. Рассмотрим нагрев модели кромки детали, для наглядности, в виде набора неограниченных пластин толщиной $h_1 \dots h_n$ без учета отвода тепла в массив детали. На рис. 1 показана дискретная модель кромки детали в виде набора пластин различной толщины.

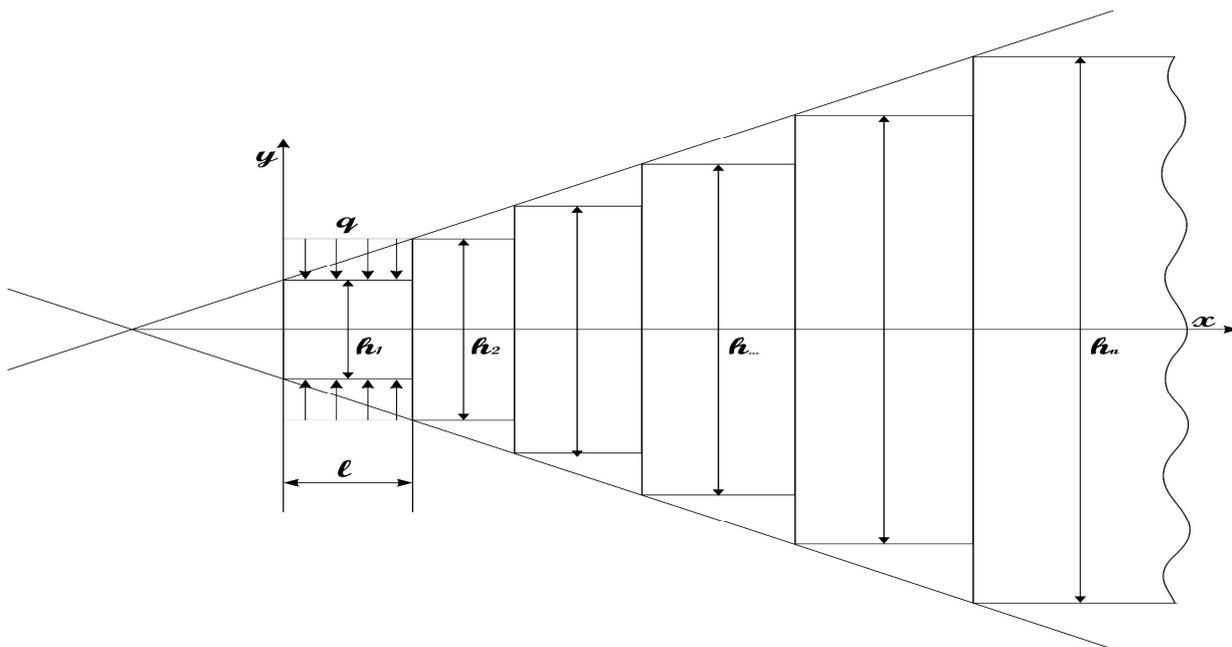


Рис.1. Модель кромки детали. h_1, h_2, \dots, h_n – толщина пластин

Для расчетов использовали аналитическую зависимость (1). Нагрев осуществлялся внутренним источником тепла. При импульсном нагреве тепло мгновенно выделяется на поверхности исследуемого элемента, что позволяет определить время перераспределения температуры по толщине пластины.

$$T_{(x,y,\tau)} = \frac{aqm}{2h\lambda} \left[\operatorname{erf} \frac{\ell - x}{2\sqrt{a\tau}} + \operatorname{erf} \frac{\ell + x}{2\sqrt{a\tau}} \right] \times \left[1 + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n e^{-\frac{a\pi^2 n^2 \tau}{h^2}} \cos \frac{n\pi y}{h} \right] + \frac{qap}{\ell h \lambda} \times$$

$$\times \left[\frac{1}{2} \int_0^{\tau} \operatorname{erf} \frac{\ell-x}{2\sqrt{a\tau}} + \operatorname{erf} \frac{\ell+x}{2\sqrt{a\tau}} \right] dt + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \cos \frac{n\pi y}{h} \int_0^{\tau} \exp \left[-\frac{a\pi^2 n^2 \tau}{h^2} \right] \times \left[\operatorname{erf} \frac{\ell-x}{2\sqrt{a\tau}} + \operatorname{erf} \frac{\ell+x}{2\sqrt{a\tau}} \right] d\tau, \quad (1)$$

где T – температура, a – коэффициент температуропроводности, q – плотность теплового потока, h – толщина элемента, λ – коэффициент теплопроводности, τ – время нагрева, l – длина участка, на котором подводится тепло, x, y – текущие координаты, n – число членов ряда.

3. Оценка возможности скругления кромок деталей

На рис. 2 показаны зависимости установившейся температуры пластин из материалов с разными теплофизическими свойствами от толщины при нагреве импульсным источником тепла одинаковой мощности. Сравнение температуры пластин, нагретых одинаковым количеством тепла, позволяет оценить энергоёмкость процессов как от геометрических параметров, так и от теплофизических свойств материала.

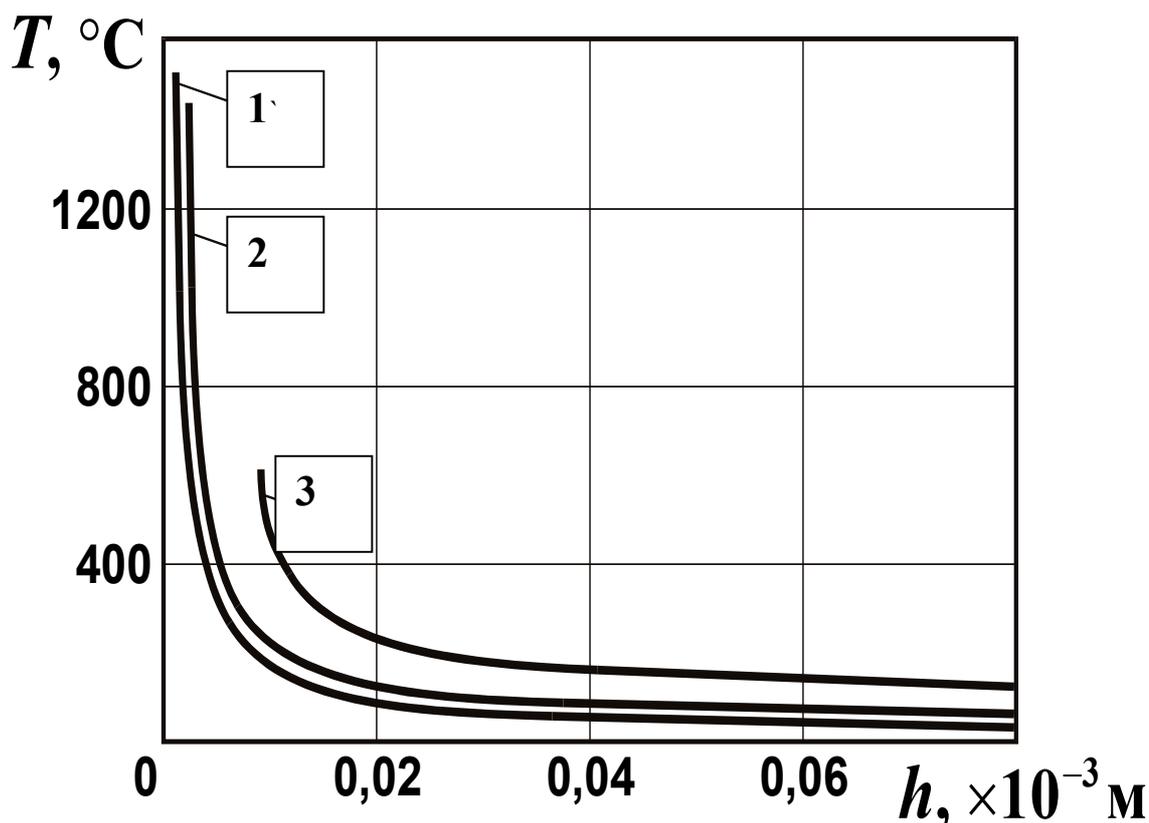


Рис. 2. Зависимость температуры прогрева частиц от толщины ликвидов при нагреве источником тепла одинаковой мощности:

1 – сталь 30X13, 2 – сталь 12X18H10T, 3 – Ал. 9

Для каждого материала существует только одна оптимальная зависимость изменения установившейся температуры от толщины ликвидов. Так, для плавления ликвидов из высоколегированной стали 12X18H9T необходимо энергии на 20% меньше, чем для аналогичных ликвидов из стали 30X13, при этом время

прогрева отличается более чем на 30%. Плотность теплового источника для плавления ликвида толщиной 100 микрон в 10 раз больше, чем для удаления частицы толщиной 10 микрон [5].

Время прогрева пластин аналогичной толщины отличается более чем в 50 раз для алюминиевого сплава и в 65 раз для стальных сплавов. Очевидно, что материалы с высокой теплопроводностью должны обрабатываться за более короткий промежуток времени, чем материалы с низкой теплопроводностью. Увеличение времени обработки относительно оптимального времени приводит к прогреву и соответственно оплавлению элементов большей толщины, а при уменьшении времени необходимо увеличить мощность источника тепла, что ведет к увеличению температуры детали. Увеличение толщины пластины в два раза влечет за собой уменьшение температуры вдвое. Например, при использовании в качестве энергоносителей горючих газовых смесей для этого необходимо увеличить давление горючей смеси в два раза.

Полученные результаты позволяют определить влияние теплофизических свойств материалов и толщины ликвидов на энергоемкость процесса без учета потерь тепла и определить оптимальное время обработки. Они в полной мере правомерны для процессов удаления частиц, заусенцев, пленов и других ликвидов, у которых потери тепла в местах контакта с деталью незначительны, и для скругления кромок деталей из материалов с низкой теплопроводностью, например, пластмасс. Для скругления кромок деталей из металлов и сплавов необходимо учитывать величину потерь тепла за счет утечки в массив детали, которые зависят от теплофизических свойств материалов, геометрических размеров удаляемого элемента, длительности процесса. Оценку потерь тепла выполним по изменению температурного поля в зоне удаляемого элемента.

При использовании в качестве источника тепла детонирующих газовых смесей используют интенсивную фазу теплообмена между газом и деталями, соответствующую периоду существования ударных волн [2,4] и нагрев осуществляется многими последовательными импульсами. Длительность интенсивного периода нагрева зависит от многих факторов и может быть предварительно задана. На рис. 3 и 4 изображены типичные осциллограммы изменения давления продуктов сгорания (б) и температуры образца детали (а) в виде пластины во времени. На рис. 4 показана развертка изменения давления продуктов сгорания при затухании ударных волн.

Для численных исследований используем программу, которая позволяет моделировать температурные поля в ликвидах при нагреве несколькими импуль-

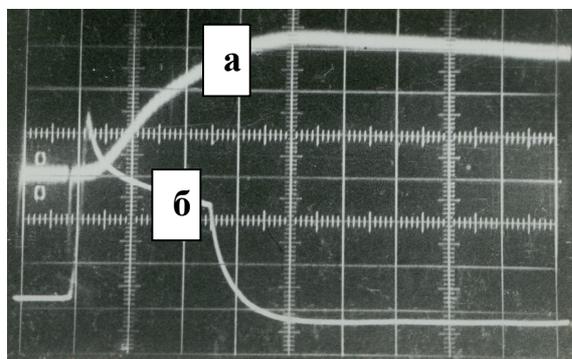


Рис. 3. Интенсивность нагрева образца и изменение давления газов

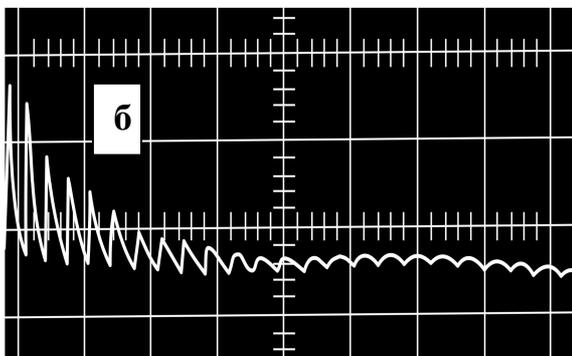


Рис. 4. Затухание ударных волн в камере с постоянным объёмом

сами тепла, т.е. максимально приблизиться к действительной характеристике теплового источника.

Рассмотрим влияние на температурное поле удаляемого элемента длительности интервалов между импульсами при его длине, равной десяти толщинам ($l_n/h_1 = 10$), и толщине, равной длине ($l_n/h_1 = 1$).

На рис. 5 показано типичное температурное поле без тепловых потерь. На рис. 6 и 7 показаны типичные температурные поля исследуемых моделей с учетом факторов влияющих, на отток тепла в массив детали. С увеличением интервалов между импульсами соответственно увеличивается время обработки, что ведет к снижению температуры кромки. На осциллограмме (рис. 3) зафиксирована зависимость интенсивности нагрева пластины (а) от интенсивности колебаний ударных волн (б). После сброса продуктов сгорания заметно снижение температуры исследуемой модели вследствие отвода тепла.

Исследования показывают, что для скругления кромки заданным радиусом необходимо учитывать как отток тепла в массив детали, так и величину радиуса. Компенсировать эти потери можно только за путем увеличения мощности источника тепла, что влечет увеличение температуры поверхностного слоя детали [5]. В статье приведены результаты изучения групповых физических явлений, происходящих в процессе термоимпульсного скругления кромок деталей из одного материала.

Следует заметить, что при скруглении кромок необходимо выполнить противоречивые условия – оплавить и удалить излишки при этом сохранить структуру материала детали в исходном состоянии.

В массовом производстве оптимизацию режимов обработки для конкретных деталей можно выполнить экспериментально. В условиях производства аэрокосмической техники важно автоматизировать процесс исследования и выбора оптимальных режимов обработки для частных случаев. С учетом возможности компьютерной техники, при наличии условий однозначности, характеризующих источник тепла и обрабатываемые детали, задача оптимизации выбора режимов обработки возможна путем дискретного решения системы уравнений определяющих нагрев элементов детали затухающими ударными волнами с учетом размеров радиуса скругления. Анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований позволяет сделать следующие выводы:

1. Для каждого материала существуют свои оптимальные зависимости времени обработки от толщины удаляемых ликвидов, которые определяются численными экспериментами.

2. Термоимпульсный метод позволяет гибко автоматизировать процесс скругления кромок и удаление ликвидов с деталей из металлов и сплавов одновременно путем использования в качестве инструмента детонирующих газовых смесей.

3. Аналитическая модель процесса термоимпульсной обработки деталей дает возможность научно обоснованно определять процесс выбора технологических режимов и характеристик источника тепла (оборудования) с учетом теплофизических свойств материалов, наличия тонкостенных элементов детали, химического состава горючей смеси, размеров рабочей камеры и степени ее загрузки.

4. Применение аналитической модели для дискретного нагрева при термоимпульсной обработке кромок с учетом отвода тепла в тело детали и дискретного увеличения толщины кромки позволяет решить задачу автоматизации процесса скругления кромок заданным радиусом путем регулирования двух параметров – времени нагрева и мощности источника тепла.

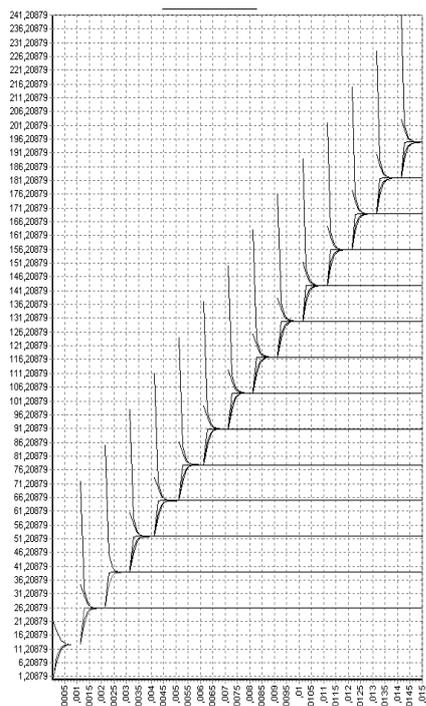


Рис. 5. Изменение температура -туры ликвида, нагрев импульсами с интервалом $t = 0,0005$ с, при $h_l = 0,2$ мм, $l_l = 2$ мм

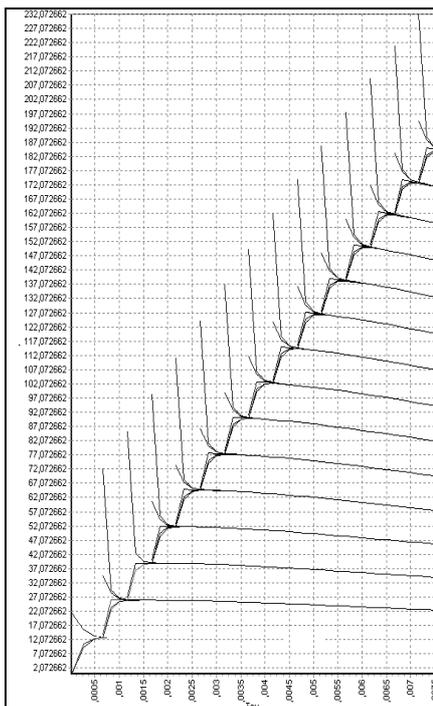


Рис. 6. Изменение температура ликвида, нагрев импульсами с интервалом $t = 0,0005$ с, при $h_l = 0,2$ мм, $l_l = 0,2$ мм

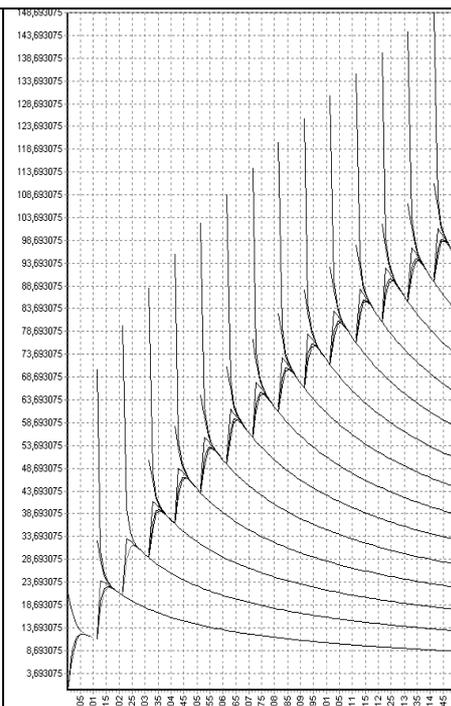


Рис. 7. Изменение температура ликвида, нагрев импульсами с интервалом $t = 0,001$ с, при $h_l = 0,2$ мм, $l_l = 0,2$ мм

Список литературы.

1. Пак Н.И. Численное моделирование процесса термического удаления заусенцев концентрированным потоком энергии / Н. И Пак, С.А. Шикунов // Обработка материалов импульсными нагрузками. - Новосибирск, 1990. - С. 168–175.
2. Манжалея В.И. Затухания ударных волн и теплопередачи телам после детонации газа в камере / В.И. Манжалея - Новосибирск, 1989. - С. 123-132.
3. Отработка технологических режимов удаления заусенцев с деталей из алюминиевых сплавов газоимпульсным методом: Отчет, Инв. №02830007717. - Новосибирск. - 1982. - 103 с.
4. Лосев А.В. Повышение эффективности зачистки деталей пневматических и гидротопливных систем при использовании термоимпульсного метода: дис. ... канд. техн. наук: 05. 02. 08.А.В. Лосев. - Х., 1995. - 210 с.
5. Фадеев В.А. Обеспечение промышленной чистоты изделий машиностроения в производстве с использованием термоимпульсного метода / В.А. Фадеев, А.В. Лосев, О. А. Лосева // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. - НТУ "ХПИ", Х., 2006. - Вып. 70. - С. 516 - 512

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

Поступила в редакцию 16.06.2009

Обработка крайков деталей термоимпульсным методом

Наведено результати теоретичних досліджень впливу теплофізичних властивостей матеріалів, геометричних розмірів елементів крайок та характеристик джерела тепла на температурне поле моделі крайки. Встановлено фактори, які впливають на регулювання розмірів радіуса заокруглення крайок.

Ключові слова: крайка, ліквід, імпульсний нагрів, щільність теплового потоку, довжина і товщина ліквіду, аналітична модель термоімпульсного процесу.

The thermo-impulse treatment of part's edges

The article gives the results of theoretical researches of thermo-physical properties, geometrical dimensions of edge elements and heat source characteristics influence on temperature field. Also article draws our attention to the facts that have influence on the edge rounding radius size adjustment.

Keywords: edge, burr, impulse heating, heat flow density, length and thickness of burr, analytical model of thermo-impulse process.