

УДК 621.09.48

Л.М. ЛУБЕНСКАЯ, Г.Л. МЕЛКОНОВ, С.Н. ЯСУНИК

Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, Украина

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ОКРУГЛЕНИЯ ОСТРЫХ КРОМОК ДЕТАЛЕЙ И СЪЕМА МЕТАЛЛА ПРИ ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКЕ

В статье приведены результаты экспериментальных исследований процесса округления острых кромок на деталях при обработке на станках без жесткой кинематической связи между элементами системы СПИЗ. Определены зависимости радиусов округления кромок образцов и съема металла от времени при вибрационной обработке. Экспериментальные данные подвержены аппроксимации с помощью экспоненциальных зависимостей. Подтверждена теория единства природы формирования микрорельефа обрабатываемой поверхности (получаемого в результате микрорезания) и округления острых кромок при вибрационной обработке.

Ключевые слова: вибрационная обработка, округление острых кромок, съем металла, эксперимент, экспоненциальная зависимость, аппроксимация.

Введение и постановка задачи исследования

Во многих отраслях промышленности, в том числе машино-, приборостроительной и авиационной, приходится округлять острые кромки, удалять заусенцы и облой с большого количества деталей, в том числе мелких, сложной конфигурации. Выполнение данных операций требует больших затрат труда и времени.

На сегодняшний день для описания процесса вибрационной обработки (ВиО) известны отличающиеся между собой теоретические зависимости, определяющие радиус округления острых кромок и величину съема металла [1 – 3]. Поскольку процесс округления острой кромки осуществляется в результате взаимодействия абразивной гранулы с этой кромкой, которое аналогично взаимодействию гранулы с поверхностью детали, то различие в указанных зависимостях представляется нелогичным.

Целью исследований, представленных в данной статье, является нахождение зависимостей на основании имеющихся экспериментальных данных, которые подтвердили бы единство физико-механической природы обработки поверхности и при формировании микрорельефа обрабатываемой поверхности, и при округлении острых кромок.

Авторами работы [1] был проведен анализ исследований В.А. Самадунова и Е.М. Косягина по изменению радиуса кромки R во времени t , результаты которых противоречивы.

По мнению В.А. Самадунова, зависимость величины радиуса округления от времени характеру "насыщения" не соответствует

$$R \sim \sqrt[3]{t}. \quad (1)$$

По мнению Е.М. Косягина, зависимость $R(t)$ имеет характер "насыщения" (т.е. величина радиуса округления со временем устанавливается, практически не изменяясь) (табл. 1) и отношение $R/\sqrt[3]{t}$ должно быть постоянным. Однако в результате проведенного расчета с использованием данных табл. 1 видно, что это постоянство выдерживается для малых t , но не выдерживается для больших t ($t > 60$ мин), начинается резкий рост этого отношения.

Таблица 1

Сравнение экспериментальных данных, приведенных в [1], с результатами расчета зависимостей (3) и (4)

Время обработки, мин	Радиус кромки образца в виде пластины при ВиО в ПТ-10, мм					
	Сталь			Алюминий		
	Эксперимент [2]	Аппроксимация по (3)	%	Эксперимент [2]	Аппроксимация по (4)	%
10	0,107	0,057	+46,9	0,144	0,090	+37,5
20	0,121	0,100	+17,3	0,188	0,157	+16,5
30	0,141	0,133	+5,7	0,215	0,207	+3,9
40	0,160	0,158	+0,9	0,236	0,243	-3,2
50	0,171	0,178	-3,9	0,254	0,271	-6,6
60	0,174	0,192	-10,6	0,274	0,291	-6,3
70	0,197	0,204	-3,4	0,305	0,306	-0,4
80	0,215	0,212	+1,3	0,314	0,318	-1,1
90	0,222	0,219	+1,4	0,328	0,326	+0,6
100	0,223	0,224	-0,4	0,334	0,332	+0,6
110	0,223	0,228	-2,1	0,335	0,336	-0,5

Известно, что зависимости с "насыщением" могут быть описаны как экспоненциальные и могут иметь вид [1]:

$$R(t) = A(1 - e^{-Bt}), \quad (2)$$

где A – константа, равная устанавливаемому с течением времени значению R ;

B – константа, обратное значение, которое принято называть постоянной времени.

Согласно экспериментальным данным (табл. 1) соответствующие зависимости могут быть записаны следующим образом:

для стали $R(t) = 0,240 \cdot (1 - e^{-0,02698t})$; (3)

для алюминия $R(t) = 0,350 \cdot (1 - e^{-0,02974t})$. (4)

При этом значение константы B находится как величина, обратная постоянной времени, которая равна отрезку, отсекаемому от прямой $R=A$ касательной к рассматриваемой зависимости $R(t)$ в точке $t=0$ (рис. 1).

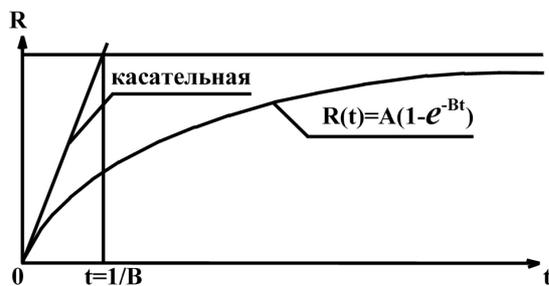


Рис. 1. К определению констант A и B

В табл. 1 приведены результаты расчетов по зависимостям (3) и (4). Сравнение этих данных с экспериментальными показывает их хорошую сходимость. Большую погрешность для малых значений времени можно объяснить тем, что в начале обработки острой кромки преобладает не процесс съема металла, а пластическое деформирование, приводящее к более быстрому изменению радиуса кромки, чем экспоненциальное. Следует отметить, что это предположение высказано для вязких и пластичных материалов. В случае же использования хрупких материалов происходит процесс скалывания острых кромок.

Методика и результаты исследования

Если принять, что механизм изменения радиуса закруглений и съема металла при виброабразивной обработке один и тот же, то временные зависимости радиуса и величины съема будут иметь один и тот же характер.

В подтверждение этому в научно-исследовательской лаборатории обработки свободными абразивами ВНУ им. В.Даля были проанализированы

заусенцы, образованные на поверхностях плоских образцов с размерами $60 \times 30 \times 5$ мм после их фрезерования. Образцы были выполнены из нержавеющей стали марки 12X18H10T ($\sigma_b=520$ МПа, $\sigma_t=200$ МПа, $\delta=40\%$, $\psi=55\%$) [3]. После операции фрезерования на торцах заготовок имелись заусенцы (это объясняется тем, что эта сталь пластична и она «тянется» за инструментом), которые необходимо было удалить механическим путем.

Экспериментальные исследования удаления заусенцев в процессе вибрационной обработки проводились на вибрационном станке модели УВИ-25 с режимами: амплитуда колебаний контейнера $A=2,5$ мм, частота колебаний контейнера $\omega=50$ Гц в рабочей среде АН-2 – бой шарошлифовальных кругов на протяжении 120 минут с фиксацией формы заусенца через каждые 10 минут. Частично результаты визуальных наблюдений исследуемого заусенца приведены на рис. 2.

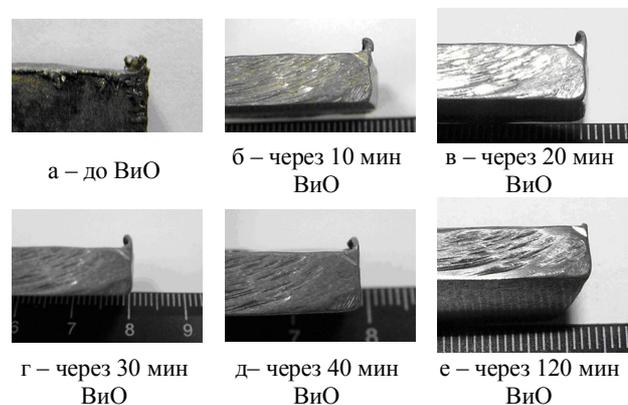


Рис. 2. Внешний вид исследуемого заусенца

Анализируя внешний вид образцов, подлежащих ВиО, можно отметить, что по всему их периметру наблюдались ярко выраженные заусенцы, острые края которых оборваны и не имеют общего радиуса округления. После 10 минут обработки в результате микрорезания и скалывания удалена (обломана) острая вершина заусенца. Через 20 минут обработки наблюдалась изогнутость заусенца к поверхности детали. На данный момент времени у образца из самого крупного заусенца образовался бурт с радиусным закруглением, а более тонкие заусенцы, расположенные по другим торцам образца, расплющились и истерлись. После 30 минут обработки этот заусенец вытянулся, при этом уменьшилась его ширина и увеличилась высота, радиус закругления заусенца постепенно увеличивался. По истечении 40 минут обработки наблюдалась изогнутость заусенца к поверхности детали, при этом уменьшилась его высота, ширина у основания увеличилась и началось равномерное его истирание, которое полностью закончилось через 120 мин (рис. 2, е).

При проведении эксперимента кроме визуального наблюдения за процессом удаления заусенцев, расположенных на торцах образцов, также исследовалось изменение радиуса округления острых кромок на примере наибольших заусенцев из оставшихся на поверхностях исследуемых образцов после фрезерования. Измерение радиуса округления острой кромки производилось путем приближения с помощью программы КОМПАС-3D V9. Результаты измерений были сведены в табл. 2 (столбец 2).

В табл. 2 также приведены результаты аппроксимации полученных данных, рассчитанных по зависимости (5), в которой константы А и В определены по методике, приведенной выше

$$R(t) = 0,4 \cdot (1 - e^{-0,0494t}). \quad (5)$$

Таблица 2

Радиус округления заусенца плоских образцов при ВиО абразивными гранулами АН-2

Время, мин	Радиус округления заусенца, мм		
	Эксперимент	Аппроксимация по (5)	%
10	0,140	0,156	-10,2
20	0,220	0,251	-12,35
30	0,242	0,309	-21,7
40	0,255	0,344	-25,8
50	0,271	0,366	-25,9
60	0,285	0,379	-24,8
70	0,302	0,387	-21,9
80	0,317	0,392	-19,1
90	0,333	0,395	-15,7
100	0,348	0,397	-12,3
110	0,364	0,398	-8,5
120	0,380	0,399	-4,7

В ходе экспериментальных исследований также определялся съём металла с поверхностей образцов:

$$Q_i = M_n - M_k, \quad (6)$$

где Q_i – съём металла с поверхности обрабатываемых образцов или масса снимаемого материала с i -го образца; i – номер образца по порядку; M_n – масса образца до начала обработки, г; M_k – масса образца по окончании обработки, г.

Исследуемые образцы взвешивались через каждые 20 минут обработки.

Среднее значение съёма металла определялось по следующей зависимости:

$$Q_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^n Q_i / n, \quad (7)$$

где n – количество исследуемых образцов.

Результаты экспериментальных исследований по определению съёма металла с поверхностей исследуемых образцов в единицу времени приведены в табл. 3.

Таблица 3

Съём металла абразивными гранулами с поверхностей плоских образцов, обработанных на установке УВИ-25

Время, мин	Съём металла, мг		
	Эксперимент	Аппроксимация по (8)	%
20	138,1	152,2	-9,3
40	190,2	238,4	-20,2
60	228,9	286,9	-20,2
80	263,4	314,4	-16,2
100	296,2	329,8	-10,2
120	327,3	338,6	-3,3

Результаты съёма металла также были подвергнуты аппроксимации (табл. 3). Так как зависимость $R(t) = A(1 - e^{-Bt})$ справедлива и для определения съёма металла в единицу времени, то зависимость для аппроксимирования полученных экспериментальных данных имеет вид:

$$Q(t) = 0,35 \cdot (1 - e^{-0,02857t}). \quad (8)$$

Значения констант А и В найдены с помощью графических построений по выше приведенной методике.

С целью предоставления возможности широкого использования полученных результатов и сравнения с результатами других авторов в случае определения съёма металла следует перейти к его удельному значению, а именно к съёму металла с единицы площади исследуемого образца. Для этого полученные средние значения съёма металла следует разделить на суммарную площадь всех поверхностей образца, в нашем случае она составляет 4500 мм². Результаты расчетов сведены в табл. 4. Для полученных результатов составим новую зависимость для аппроксимирования:

$$q(t) = 0,08 \cdot (1 - e^{-0,037t}). \quad (9)$$

При этом значения констант А и В находятся по той же методике, что и ранее, и составили 0,08 и 0,037 соответственно. Результаты расчетов по зависимости (9) приведены в табл. 4.

Таблица 4

Удельный съём металла абразивными гранулами с единицы площади плоских образцов, обработанных на установке УВИ-25

Время, мин	Удельный съём металла с единицы площади образца, мг/мм ²		
	Эксперимент	Аппроксимация по (9)	%
20	0,0307	0,0418	-26,55
40	0,0422	0,0617	-31,60
60	0,0509	0,0713	-28,61
80	0,0585	0,0758	-22,8
100	0,0658	0,0780	-15,64
120	0,0727	0,0790	-7,9

Заключение

Как видно из приведенных формул, аппроксимация зависимостей радиуса округления кромки и съема металла от времени имеет одинаковый характер. Это может служить подтверждением единства физико-механической природы, как округления острых кромок, так и съема металла при вибрационной обработке деталей.

Из данных, приведенных в табл. 1 – 4 видно, что значения, полученные в ходе экспериментальных исследований, и в результате их аппроксимации отличаются на 3 – 20%, что является незначительным. Таким образом, экспоненциальные зависимости могут быть рекомендованы для применения в инженерной практике. Для этого следует экспериментально определить всего два параметра. Заметим при этом, что наличие большого экспери-

ментального материала в уже существующих публикациях позволяет воспользоваться ими без дополнительных экспериментов.

Литература

1. Бранспиз Е.В. Анализ процессов скругления острых кромок и съема металла при виброабразивной обработке / Е.В. Бранспиз, Л.М. Лубенская // *Вібрації в техніці та технологіях*. – 2001. – № 1 (17). – С. 25-27.
2. Бабичев А.П. Основы вибрационной технологии / А.П. Бабичев, И.А. Бабичев. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2008. – 694 с.
3. Анализ механизма удаления ликвидов вибрационным методом / Л.М. Лубенская, Г.Л. Мелконов, С.Н. Ясуник, А.С. Зуев // *Новітні технології у машинобудуванні: металообробка, інструмент, реновація*. – Маріуполь: ПДТУ. – 2008. – С. 36-45.

Поступила в редакцию 4.03.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. начертательной геометрии и графики И.В. Малков, Восточноукраинский национальный университет им. В.Даля, Луганск.

АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ ОКРУГЛЕННЯ ГОСТРИХ КРОМОК ДЕТАЛЕЙ І ЗНІМАННЯ МЕТАЛУ ПРИ ВІБРАЦІЙНІЙ ОБРОБЦІ

Л.М. Лубенська, Г.Л. Мелконов, С.М. Ясунік

У статті приведені результати експериментальних досліджень процесу округлення гострих кромок на деталях при обробці на верстатах без жорсткого кінематичного зв'язку між елементами системи ВПЗ. Визначені залежності радіусів округлення кромок зразків та знімання металу від часу при вібраційній обробці. Експериментальні данні підвергнули апроксимації за допомогою експоненціальних залежностей. Підтверджена теорія єдності природи формування мікрорельєфу поверхні, яка оброблюється (що досягається в результаті мікрорізання), й округлення гострих кромок при вібраційній обробці.

Ключові слова: вібраційна обробка, округлення гострих кромок, знімання металу, експеримент, експоненціальна залежність, апроксимація.

THE ANALYSIS OF THE PROCESSES OF TRUNCATION SHARP EDGES AND REMOVAL OF THE METAL UNDER VIBRATORY PROCESSING

L.M. Lubenskaya, G.L. Melkonov, S.N. Yasunik

In article are brought results of the experimental investigations of the process of truncation of the sharp edges on detail when processing on tool without hard kinematical connection between system element «tool - adjustment - instrument - detail». The Certain dependencies radius truncation of the edges sample and removal of the metal from time under vibration processing. The experimental data given subject to approximation by means of exponential dependencies. The Confirmed theory unity natures of the shaping microrelief processed surface (got as a result microcutting) and truncation of the sharp edges under vibratory shave processing.

Key words: vibratory processing, truncation of the sharp edges, removal of the metal, experiment, exponential dependency, approximation.

Лубенская Людмила Михайловна – канд. техн. наук, доцент кафедры «Технология машиностроения», Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, Луганск, Украина.

Мелконов Григорий Леонидович – научный сотрудник, Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, Луганск, Украина.

Ясуник Светлана Николаевна – канд. техн. наук, доцент кафедры «Технология машиностроения», Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, Луганск, Украина, e-mail: tm@snu.edu.ua, jsn@ukr.net.