

Н.В. Гончар, к.т.н., доцент

Е.В. Кондратюк, к.т.н., доцент

Д.Н. Степанов, старш. преподаватель

Запорожский национальный технический университет

ФОРМИРОВАНИЕ РАДИУСА СКРУГЛЕНИЯ ОСТРЫХ КРОМОК СЛОЖНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ФОРМ ПРИ ПОМОЩИ ПОЛИМЕРНО-АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА

В статье приводятся рациональные режимы и условия обработки сложнопрофильных кромок деталей из жаропрочных сплавов щеточными полимерно-абразивными инструментами. Также в ней описывается методика измерения радиуса скругления.

Ключевые слова: *острые кромки, заусенец, радиус скругления, детали сложных пространственных форм, инструмент на основе полимерно-абразивных волокон.*

Вступление. В настоящее время является актуальным поиск новых методов и инструментов для обработки кромок деталей сложной конфигурации. Например, удаление заусенцев, оставленных на поверхности выхода инструмента после фрезерования зубчатого венца, протягивания «Т-образных» пазов, конструктивных соединений типа «елка» или «ласточкин хвост», особенно, если к качеству полученных поверхностей, к размеру и форме полученного радиуса скругления предъявляются высокие требования. К тому же обработку фасонных кромок сложно механизировать или автоматизировать из-за необходимости точного позиционирования инструмента относительно контура кромки.

Эта проблема особенно актуальна для таких отраслей машиностроения, как авиадвигателестроение, приборостроение и т.п., в которых тонкостенные детали сложного профиля превалируют из-за требования к уменьшению массы без потери прочности. К тому же эти детали изготавливают из специальных, например, жаропрочных сплавов, таких как никелевые и титановые авиационные сплавы, относящиеся к труднообрабатываемым, и требующие при обработке больших сил резания. Поэтому слесарную и финишную обработку кромок таких деталей производят многоступенчато, так как высокая силовая нагрузка недопустима для тонкостенных деталей, и зачастую с применением ручного труда.

Для повышения ее производительности необходимо выполнить следующие требования:

- равномерная обработка кромок сложной формы и труднодоступных мест;
- невысокое силовое давление;
- возможность механизации;
- возможность высокопроизводительной обработки труднообрабатываемых сплавов.

Обзор последних публикаций и исследований.

Вышеобозначенные требования обеспечиваются применением щеточных инструментов вращательного действия на основе полимерно-абразивных (ПА) волокон (рис. 1). Волокна диаметром 0,5...1,5 мм содержат 30...40% абразива определенной зернистости в полимерной основе, что придает им гибкость и упругость [1]. Главное и вспомогательные движения при обработке дисковыми ПА инструментами аналогичны крацовке металлическими щеточными кругами.

ПА инструменты за счет гибкости волокон равномерно обрабатывают сложные кромки и труднодоступные места; дают возможность механизации, т.к. не требуют точного позиционирования, а, значит, сложных и дорогих систем управления автоматических устройств, их программирования и техобслуживания; нежесткие волокна обеспечивают невысокий уровень силового воздействия на обрабатываемую поверхность и за счет высо-

кой кинетической энергии при микрорезании позволяют эффективно обрабатывать труднообрабатываемые стали и сплавы [2, 3].

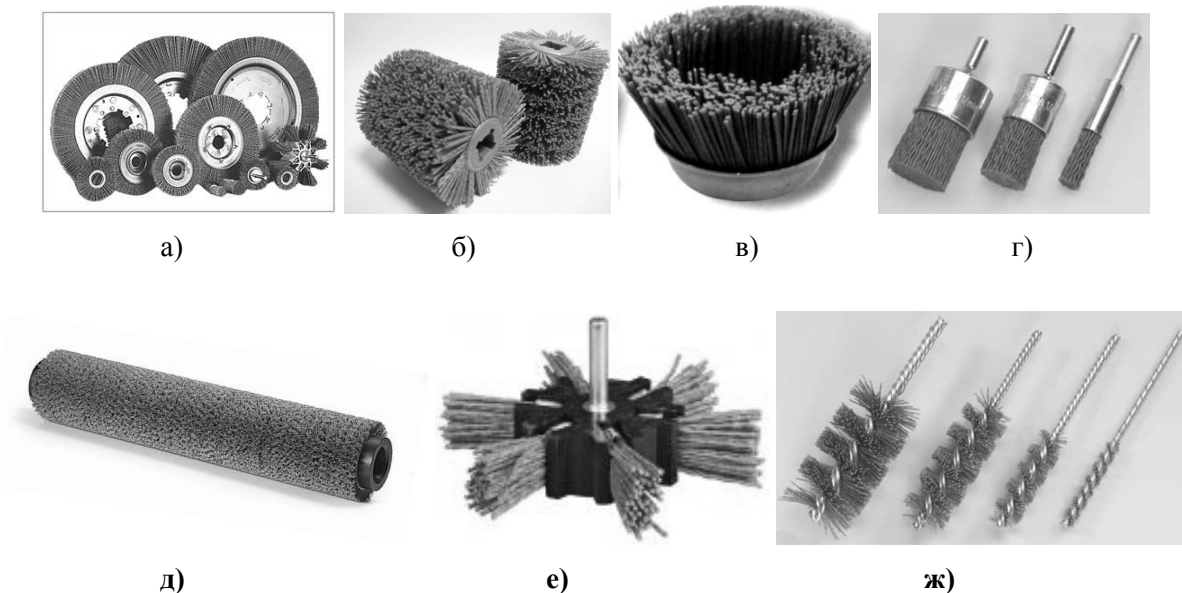


Рис. 1. Конфигурация ПАИ

а) дисковый; б) цилиндрический; в) торцевой; г) концевой;
д) роликовый; е) лепестковый; ж) ершики.

Цель данной работы – оценка влияния технологических факторов процесса обработки ПА инструментами на величину и форму полученного радиуса скругления; определение рациональных режимов и условий обработки ПА инструментами острых кромок (в т.ч. удаление заусенцев) лабораторных образцов и апробация их на «елочных» хвостовиках лопаток турбины авиадвигателя; анализ возможности механизации данной слесарной обработки лопаток после фрезерования и шлифования «елки» хвостовика.

Основной материал. Для проведения исследований было использовано оборудование (плоскошлифовальный станок мод. ЗГ71 с устройством регулировки скорости вращения шпинделя), основная (поворотные тиски) и вспомогательная (переходники) оснастка, предусматривающие возможность быстрой смены инструментов, использование накладок на них, большой диапазон подач, скоростей, удобство установки-снятия образцов, закрепление их под определенным углом, безопасность работы, удобство подсоединения контрольно-измерительной оснастки.

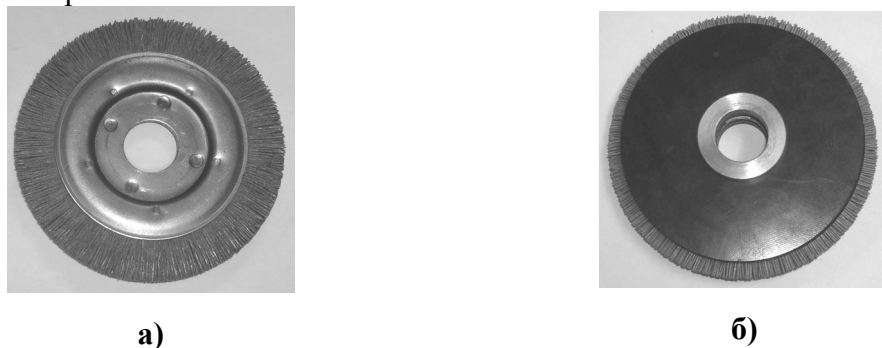


Рис. 2. Внешний вид применяемых в исследовании дисковых ПА инструментов

(а – «мягкий»; б – с накладками – «жесткий»).

Для обработки применяли обычный дисковый ПА инструмент фирмы OSBORN [4] $\varnothing 145 \times 36 \times 12$ с длиной волокна 32 мм («мягкий», рис. 2,а) и так называемый «жесткий» (рис. 2,б), у которого с помощью специальных накладок вылет волокон уменьшен до 8 мм без изменения общего диаметра.

По предварительно проведенным исследованиям были выбраны параметры инструмента, обеспечивающие высокую производительность удаления заусенцев после фрезерования и шлифования: диаметр ПА волокон 1 мм, зернистость абразива F280, материал абразивного волокна – карбид кремния 63С. Скорость обработки составляет для сталей, в т.ч. жаропрочных, алюминиевых и никелевых сплавов 15...18 м/сек, для титановых сплавов 4...6 м/сек.

На прямоугольных лабораторных образцах ПА инструментами обрабатывали кромку с предварительно наведенным заусенцем, меняя натяг i , продольную подачу S , количество двойных ходов и положение плоскости с заусенцем относительно направления продольной подачи.

Натяг i настраивали перемещением инструмента в вертикальном направлении (рис. 3), контролировали с помощью индикаторных часов.

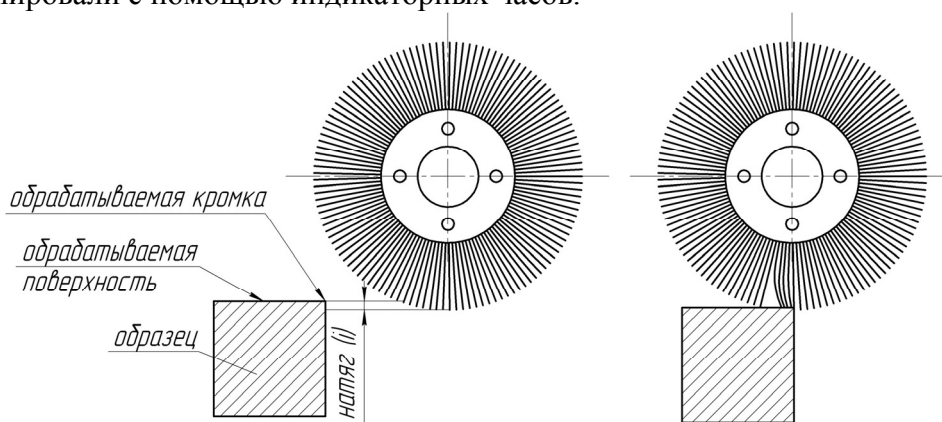


Рис. 3. Схема установки натяга перед обработкой дисковым ПА инструментом.

Одной из проблем, возникающих при слесарной обработке удаления заусенцев и скругления острых кромок деталей машин, является контроль качества полученных мелкокоразмерных элементов, таких как фаска или радиус скругления. Зачастую его проводят по эталонной детали, оттиску и другими методами в зависимости от уровня ответственности полученной скругленной поверхности. В случае, когда важно определить не только величину, но и правильность формы фаски или стабильность радиуса скругления, а иногда и шероховатость этих конструктивных элементов – требуется дорогостоящее оборудование типа контуромер НОММЕЛ Т-8000, имеющееся даже на крупных машиностроительных предприятиях в единичном экземпляре.

Альтернативой является контрольная оснастка [5], общая схема которой включает в себя: профилограф-профилометр, аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), любой персональный компьютер – все три составляющих общедоступны, недороги и легко собираются из элементов, имеющихся в лабораториях контроля качества деталей.

Особенностью контроля кромок является установка детали таким образом (рис. 4), чтобы избежать касания боковой поверхности иглы щупа профилографа-профилометра с образцом, т.е. если образец призматический, его устанавливали под 45° .

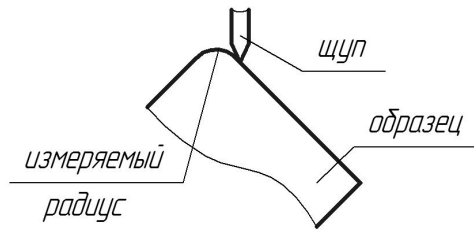


Рис. 4. Относительное положение иглы щупа и образца.

Профилограф-профилометр мод. 170311 подключали через АЦП Е-140 (фирмы «L-Card») к ноутбуку. Масштаб графика по осям X и Y – одинаков. Тарировку осуществляли с помощью плоскопараллельных концевых мер длины. Прибор отображает контур радиуса скругления в нормальном (или в другом выбранном) сечении в установленном масштабе. Далее с помощью графической программы «Компас 3D» проводили обработку полученных радиусов скругления.

Изучение процесса поэтапного удаления заусенца и скругление острой кромки радиусом при обработке ПАИ образца, установленного параллельно плоскости стола (рис. 4,а), показало возможность быстрого (за 1...3 дв.х.) удаления заусенца после протягивания, фрезерования и шлифования величиной 0,2...1 мм.

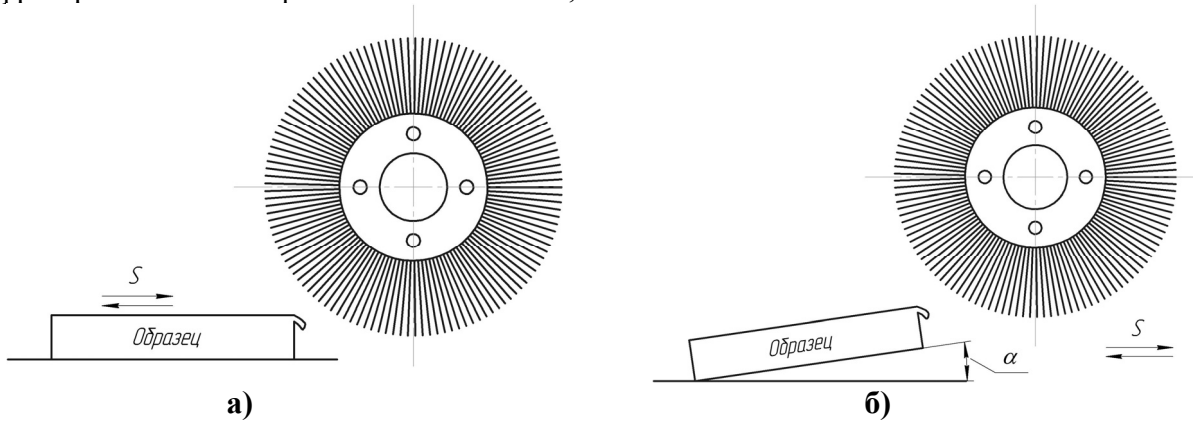


Рис. 4. Схема обработки образцов.

Рациональные режимы были выбраны после проведения однофакторных экспериментов, результаты которых указаны на рис. 5. Как видно более эффективно работает ПА инструмент с большим вылетом волокон $L=32$ мм.

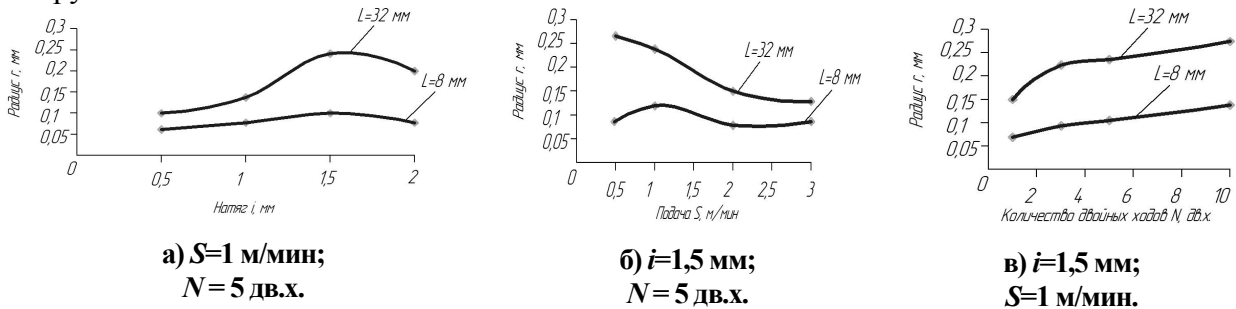
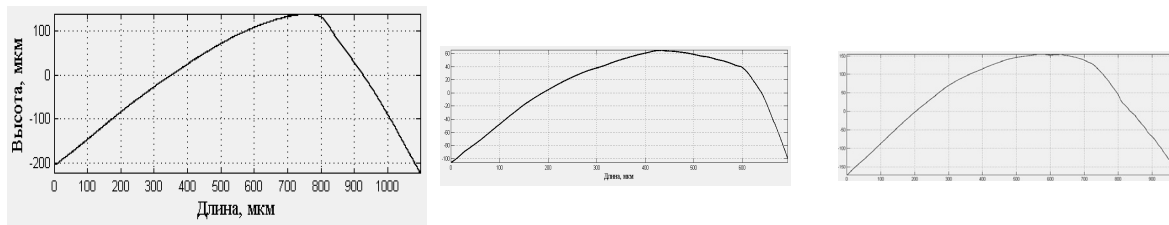


Рис. 5. Влияние технологических факторов на радиус скругления кромки ($\alpha=0$).

Полученный радиус скругления несколько «завален» – в виде двойной скругленной фаски в сторону бывшего заусенца (рис. 6).



а) $i=1,5$ мм; $S=1$ м/мин;
 $N = 1$ дв.х.; $L=12$ мм

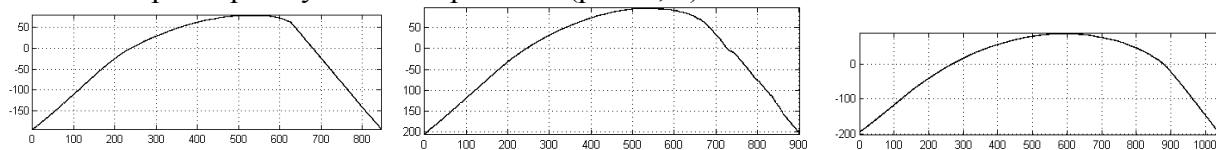
б) $i=3$ мм;
 $S=1$ м/мин,
 $N = 5$ дв.х.;
 $L=12$ мм

в) $i=1,5$ мм;
 $S = 1$ м/мин,
 $N = 5$ дв.х.; $L=32$ мм

Рис. 6. Профиль скругления после обработки ПАИ ($\alpha=0$).

Следует отметить, что такое расположение образца дает возможность тут же полировать плоскую поверхность образца; заполировывается также кромка и с другой стороны (на выходе ПАИ); заусенец, если он есть, удаляется полностью с несколько меньшей производительностью, т.к. обработка этой кромки происходит при попутном вращении инструмента. Радиус скругления на этой кромке соответственно, меньше, и форма его также не симметрична относительно биссектрисы угла.

Для получения радиуса скругления правильной формы несколько изменили ориентацию образца (рис. 4,б). Предварительные исследования на рациональных режимах, полученных ранее, показали, что наиболее правильную форму радиуса скругления обеспечивает установка с $\alpha=10^\circ+5^\circ$, т.е. когда плоскость с заусенцем находится под углом $75...80^\circ$ по направлению к вектору продольной подачи ПАИ. При такой установке был проведен весь комплекс однофакторных экспериментов (изменяли i , S , N , L) с целью уточнить параметры и условия обработки (рис. 7, 8).

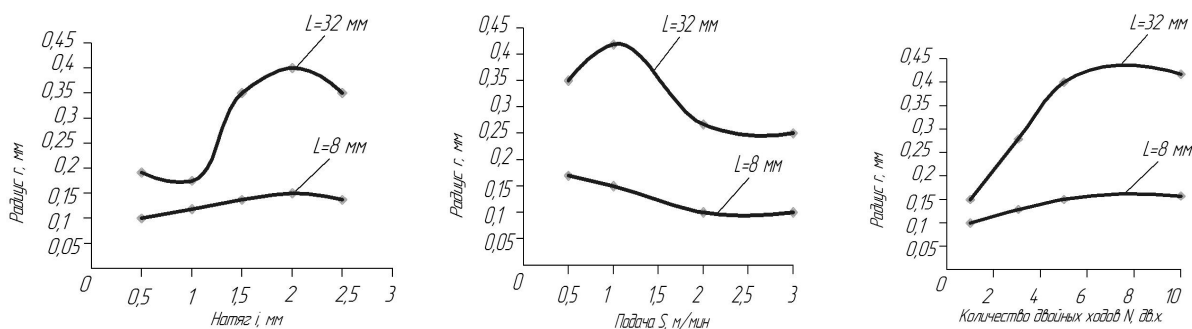


а) $i=1,5$ мм;
 $S = 1$ м/мин,
 $N = 1$ дв.х.; $L=12$ мм

б) $i=1,5$ мм;
 $S=1$ м/мин,
 $N = 5$ дв.х.; $L=12$ мм

в) $i=1,5$ мм;
 $S=1$ м/мин,
 $N = 5$ дв.х.; $L=32$ мм

Рис. 7. Профиль полученного радиуса скругления ($\alpha=10^\circ$).



а) $S=1$ м/мин;
 $N = 5$ дв.х.

б) $i=1,5$ мм;
 $N = 5$ дв.х.

в) $i=1,5$ мм;
 $S=1$ м/мин.

Рис. 8. Зависимость радиуса скругления при установке образца под углом $\alpha=10^\circ$.

При такой установке образца – плоскость с заусенцем выставлена под углом $75...80^\circ$ к направлению подачи ПАИ – наилучшим вариантом быстрого снятия заусенцев и полу-

чения радиуса скругления правильной формы рационально использовать «мягкий» инструмент (вылет волокон $L=30...35$ мм) с режимами: натяг $i=1,5...2$ мм, подача $S=1$ м/мин, $N=5$ дв.х.

Для проверки установленных рациональных режимов и условий обработки ПАИ были обработаны хвостовики типа «елка» нескольких контрольных лопаток после протягивания и шлифования. Для правильного положения плоскости с заусенцем лопатку во время обработки хвостовика зажимали в поворотные тиски, которые позволяют выставлять плоскости хвостовика под любым углом. Контроль проводили по вышеописанной методике.

Результаты замеров по всем четырем фасонным кромкам каждой лопатки показали следующее: по контуру прямолинейной части ножки хвостовика по всем сечениям и граням радиус скругления правильной формы, его величина $0,25...0,6$ мм; по контуру «елочной» части заусенец снят везде – величина радиуса во впадинах и выступах составила $0,1...0,3$ мм, что обеспечило выполнение требований чертежа. Так как плоские и рабочие поверхности хвостовика не обрабатывались вообще, то их размер остается исходным.

Такое положение хвостовика лопатки можно обеспечить, например, с помощью специального кассетного приспособления, что дает возможность максимально сократить ручной труд на этой операции, а также одновременно обрабатывать несколько лопаток.

В результате проделанной работы можно сделать следующие выводы:

– инструмент на основе полимерно-абразивных волокон можно успешно применять для обработки кромок сложнопрофильных деталей из различных материалов, в том числе из труднообрабатываемых жаропрочных сплавов;

– в случае, когда не важна форма радиуса скругления, а необходимо быстро избавиться от заусенцев и скруглить острые кромки после фрезерования или протягивания, то можно не затрачивать время и средства на выставление детали на определенный угол, и обработать ее ПАИ со следующими, установленными выше режимами: вылет волокон $L=30...35$ мм, натяг $i=1,5$ мм, подача $S=1$ м/мин, $N=5$ дв.х.;

– наилучшим вариантом быстрого снятия заусенцев и получения радиуса скругления правильной формы рационально использовать «мягкий» инструмент с режимами: вылет волокон $L=30...35$ мм, натяг $i=1,5...2$ мм, подача $S=1$ м/мин, $N=5$ дв.х. При этом плоскость с заусенцем должна составлять $75...80^\circ$ к направлению подачи полимерно-абразивного инструмента;

– применение ПАИ дает возможность механизировать слесарные операции, ранее выполняемые вручную.

Литература

1. Абрашкевич Ю.Д. Расширение области применения полимерно-абразивных щеток [Текст] / Ю.Д. Абрашкевич, А.Н. Компанцев // *Механизация*. – 1996. – №1. – С. 9-14.
2. Степанов Д.Н. Влияние параметров полимерно-абразивного инструмента и режимов обработки на шероховатость поверхности титанового сплава ВТ8-М [Текст] / Д.Н. Степанов // *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. – 2012. – №2. – С. 87-90.
3. Гончар Н.В. Особенности финишного этапа изготовления дисков компрессоров ГТД [Текст] / Н.В. Гончар // *Проблеми техніки*. – 2013. – №2. – С. 24-32.
4. OSBORN International: Каталог продукции [Текст] / Osborn PRO, 2012. – 101 с.
5. Степанов Д.Н. Методика контроля качества выполнения радиусов скругления кромок [Текст] / Д.Н. Степанов, Н.В. Гончар, В.А. Щекин, М.В. Зинченко – *Прогрессивные технологии жизненного цикла авиационных двигателей и энергетических установок. Тезисы докладов X Международной научно-технической конференции, 23-28 сентября 2013 г.* – Алушта. – С. 92-94.

© Н.В. Гончар, Е.В. Кондратюк, Д.М. Степанов

УДК 621.7.015 : 621.923.9

Н.В. Гончар, к.т.н., доцент; Е.В. Кондратюк, к.т.н., доцент;

Д.М. Степанов, старш. викладач

Запорізький національний технічний університет

**ФОРМУВАННЯ РАДІУСА СКРУГЛЕННЯ ГОСТРИХ КРОМОК
СКЛАДНОЇ ПРОСТОРОВОЇ ФОРМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ПОЛІМЕРНО-
АБРАЗИВНОГО ІНСТРУМЕНТА**

В статті приводяться раціональні режими та умови обробки складнопрофільних крайок деталей з жароміцних сплавів щітковими полімерно-абразивними інструментами. Також в ній описується методика вимірювання радіусу скруглення.

Ключові слова: *гострі крайки, задирка, радіус скруглення, деталі складних просторових форм, інструмент на основі полімерно-абразивних волокон.*

UDC 621.7.015 : 621.923.9

N.V. Gonchar, Ph.D.

E.V. Kondratuk, Ph.D.

D.N. Stepanov, senior lecturer

Zaporozhe National Technical University

**FORMATING OF THE FILLET RADIUS OF SHARP COMPLEX-SHAPE
EDGES BY POLYMER-ABRASIVE TOOL**

The article presents the rational modes and conditions for the processing of the edges of parts from superalloys by brush polymer-abrasive tools. It also describes the method of measuring the fillet radius.

Keywords: *sharp edges, burr, fillet radius, tool-based polymer-abrasive fibers, parts of complex space forms.*