

# НАУКОЁМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

№ 2 (80)

2018

Издается с июля 2011 г.

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

Выходит при содействии Ассоциации технологов-машиностроителей

## СОДЕРЖАНИЕ

### Главный редактор

Заслуженный деятель науки и техники РФ  
д.т.н., проф. СУСЛОВ А.Г.

### Председатель редакционного совета

чл.-кор. РАН ПРИХОДЬКО В.М.

### Зам. председателя редакционного совета

д.т.н., проф. ГРИГОРЬЯНЦ А.Г.

### Редакционный совет:

д.ф.-м.н., проф. АМОСОВ А.П. (г. Самара)  
д.т.н., проф. АРТЁМОВ И.И. (г. Пенза)  
д.т.н., проф. БАЗРОВ Б.М. (г. Москва)  
д.т.н., проф. БЕЛОВ В.Д. (г. Москва)  
д.т.н., проф. БОЛДЫРЕВ А.И. (г. Воронеж)  
д.т.н., проф. БОЧКАРЁВ П.Ю. (г. Саратов)  
акад. НАН Беларуси  
ВИТЯЗЬ П.А. (г. Минск, Беларусь)  
д.т.н., проф. ДЁМИН В.А. (г. Москва)  
д.т.н., проф. ЕМЕЛЬЯНОВ С.Г. (г. Курск)  
д.т.н., проф. ЗУБАРЕВ Ю.М. (г. Санкт-Петербург)  
д.т.н., проф. КИРИЧЕК А.В. (г. Брянск)  
д.т.н., проф. КЛИМЕНКО С.А. (г. Киев, Украина)  
акад. РАН ЛЫСАК В.И. (г. Волгоград)  
д.т.н., проф. МАКАРОВ В.Ф. (г. Пермь)  
д.т.н., проф. МАЛИКОВ А.А. (г. Тула)  
д.т.н., проф. МИХАЙЛОВ А.Н. (г. Донецк, Украина)  
д.т.н., проф. МОРОЗОВ В.В. (г. Владимир)  
д.т.н., проф. МОТРЕНКО П.Д. (г. Ростов-на-Дону)  
д.т.н., проф. ОЛЕЙНИК А.В. (г. Москва)  
д.т.н., проф. ПОЛЕТАЕВ В.А. (г. Рыбинск)  
д.т.н., проф. СИТНИКОВ А.А. (г. Барнаул)  
д.т.н., проф. СМОЛЕНЦЕВ В.П. (г. Воронеж)  
д.т.н., проф. СХИРТЛАДЗЕ А.Г. (г. Москва)  
д.т.н., проф. ФАТЮХИН Д.С. (г. Москва)  
д.т.н., проф. ХАНДОЖКО А.В. (г. Брянск)  
д.т.н., проф. ХЕЙФЕЦ М.Л. (г. Минск, Беларусь)  
д.т.н., проф. ХУДОБИН Л.В. (г. Ульяновск)  
д.т.н., проф. ЧИГИРИНСКИЙ Ю.Л. (г. Волгоград)  
д.т.н., проф. ШАВРИН О.И. (г. Ижевск)

### Зам. главного редактора

ДЮБКОВА Н.В.

DOI:10.12737/issn.2223-4608

Журнал распространяется по подписке,  
которую можно оформить в любом почтовом  
отделении (индексы по каталогам:  
«Роспечать» 79195, «Пресса России» 39536).

Тел. редакции: 8-903-592-87-39

E-mail: naukatm@yandex.ru

www.ntmash.tu-bryansk.ru

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по  
надзору в сфере связи, информационных технологий  
и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

Свидетельство о регистрации средства массовой  
информации ПИ № ФС77-66087 от 10 июня 2016 года

### НАУКОЁМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК

- Безъязычный В.Ф., Суслов А.Г. Основные понятия и положения  
в технологии машиностроения . . . . . 3
- Горленко О.А. Метод пробных заготовок в обеспечении параметров  
шероховатости поверхности деталей машин . . . . . 9
- Гусев В.Г. Эффективная технология обработки наплавленных поверхностей  
корпусных деталей . . . . . 14
- Моисеев А.А. Оценка эффективности технологического процесса по  
доверительным границам вероятности брака . . . . . 20

### НАУКОЁМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОТДЕЛОЧНО- УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК

- Бабичев А.П., Бирюков Д.Д., Вобу А.М., Григоренко А.А., Ширин А.А.  
Исследование изменения микротвердости материала по глубине  
призматического образца при виброволновом нагружении. . . . . 24

### АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ПОДГОТОВКА И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

- Блохин К.О., Матлахов В.П., Хандожко В.А. Научно-техническая технология  
контроля качества керамической плитки с использованием технического  
зрения. . . . . 27

### ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ И МОДУЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Съянов С.Ю., Папикян А.М. Функционально-ориентированные  
технологии при электроэрозионной обработке . . . . . 35

### НАУКОУМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

- Зубарев Ю.М., Приемышев А.В., Заостровский А.С. Особенности  
лезвийной обработки резанием заготовок из полимерных композиционных  
материалов . . . . . 40

*Журнал входит в перечень утвержденных ВАК при Минобрнауки России  
изданий для публикации трудов соискателей ученых степеней  
по направлению 05.02.00 – Машиностроение и машиноведение  
05.16.00 – Металлургия и материаловедение*

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов,  
публикуемых в журнале «Научно-технические технологии в машиностроении»,  
допускаются со ссылкой на источник информации и только  
с разрешения редакции.

# SCIENCE INTENSIVE TECHNOLOGIES IN MECHANICAL ENGINEERING

№ 2 (80)

2018

Publishes from July 2011

MONTHLY SCIENTIFIC TECHNICAL AND PRODUCTION JOURNAL

Comes out with assistance of Engineering Technologists Association

## Editor-in-chief

Honoured Scientist and Engineer of Russia  
d.en.s. SUSLOV A.G.

**Chairman of Editorial Committee**  
m.-corr. RAS PRIHOD'KO V.M.

## Chairman Assistant

d.en.s., prof. GRIGOR'YANTS A.G.

## Editorial Committee:

d.p.-m.s., prof. AMOSOV A.P. (Samara)

d.en.s., prof. ARTEMOV I.I. (Penza)

d.en.s., prof. BAZROV B.M. (Moscow)

d.en.s., prof. BELOV V.D. (Moscow)

d.en.s., prof. BOLDYREV A.I. (Voronezh)

d.en.s., prof. BOCHKAREV P.Yu. (Saratov)

Acad. NAS of Belarus

VITYAZ' P.A. (Minsk, Belarus)

d.en.s., prof. DEMIN V.A. (Moscow)

d.en.s., prof. EMEL'YANOV S.G. (Kursk)

d.en.s., prof. ZUBAREV Yu.M. (St. Petersburg)

d.en.s., prof. KIRICHEK A.V. (Bryansk)

d.en.s., prof. KLIMENKO S.A. (Kiev, Ukraine)

Acad. RAS LYSAK V.I. (Volgograd)

d.en.s., prof. MAKAROV V.F. (Perm')

d.en.s., prof. MALIKOV A.A. (Tula)

d.en.s., prof. MIHAJLOV A.N. (Doneck, Ukraine)

d.en.s., prof. MOROZOV V.V. (Vladimir)

d.en.s., prof. MOTRENKO P.D. (Rostov-on-Don)

d.en.s., prof. OLEJNIK A.V. (Moscow)

d.en.s., prof. POLETAEV V.A. (Rybinsk)

d.en.s., prof. SITNIKOV A.A. (Barnaul)

d.en.s., prof. SMOLENCEV V.P. (Voronezh)

d.en.s., prof. SHIRTLADZE A.G. (Moscow)

d.en.s., prof. FATYUKHIN D.C. (Moscow)

d.en.s., prof. HANDOZHKO A.V. (Bryansk)

d.en.s., prof. HEJFETS M.L. (Minsk, Belarus)

d.en.s., prof. HUDOBIN L.V. (Ul'yanovsk)

d.en.s., prof. CHIGIRINSKY Yu.L. (Volgograd)

d.en.s., prof. SHAVRIN O.I. (Izhevsk)

## Deputy chief editor

DJUBKOVA N.V.

DOI:10.12737/issn.2223-4608

Journal is spreaded on a subscription, witch can be issued in any post office (index on the catalogues: «Rospechat» **79195**, «Pressa Rosii» **39536**).  
Editorial office Ph: 8-903-592-87-39  
E-mail: naukatm@yandex.ru  
www.ntmash.tu-bryansk.ru

The Journal is registered by the Federal Service for Supervision in the Sphere of Telecom, Information Technologies and Mass Communications of Russian Federation (ROSKOMNADZOR).

Registration certificate  
ПИ № ФС77-66087 от 10.06.2016

## CONTENTS

### SCIENCE INTENSIVE TECHNOLOGIES OF MACHINING

- Beziyazychny V.F., Suslov A.G.** Basic concepts and regulations in engineering techniques ..... 3
- Gorlenko O.A.** Method of test blanks in assurance of surface roughness parameters of machine parts. .... 9
- Gusev V.G.** Efficient technology for processing weld surfaces in case parts. .... 14
- Moiseyev A.A.** Assessment of engineering process efficiency on trust limits of rejects probability ..... 20

### SCIENCE INTENSIVE TECHNOLOGIES OF FINISHING AND HARDENING PROCESSING

- Babichev A.P., Biryukov D.D., Vobu A.M., Grigorenko A.A., Shirin A.A.** Investigations of material micro-hardness changes in depth of prismatic sample at vibro-wave loading ..... 24

### TECHNOLOGICAL PROCESSES AUTOMATED CONTROL

- Blokhin K.O., Matlakhov V.P., Khandozhko V.A.** Science intensive technology for ceramic tile quality control using computer vision. .... 27

### FUNCTION-ORIENTED AND MODULAR TECHNOLOGIES

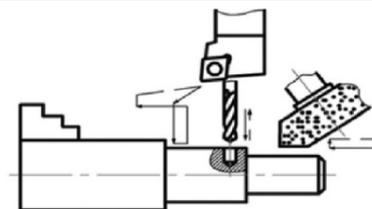
- Siyanov S.Yu., Papikyan A.M.** Functionally-directed technologies at electro-erosion processing ..... 35

### SCIENCE INTENSIVE TECHNOLOGIES OF NONMETALLIC PARTS PRODUCTION

- Zubarev Yu.M., Priyomyshev A.V., Zastrovsky A.S.** Cutting edge treatment peculiarities at cutting polymeric composite blanks ..... 40

A Journal is included in the list of editions approved by HEB at the Ministry of Education and Science of Russia for the publication of competitors' works for academic degrees in the direction of 05.02.00 – Mechanical Engineering and Science of Machines, 05.16.00 – Metallurgy and Materials Science.

Reprint is possible only with the reference to the journal  
«Science intensive technologies in mechanical engineering»



*Уважаемые читатели!*

*Публикуемый в данной статье материал является продолжением начатого обсуждения основных понятий и определений в технологии машиностроения на научно-методическом семинаре под эгидой Ассоциации технологов-машиностроителей (8-я МНТК "Наукоёмкие технологии на современном этапе развития машиностроения" (ТМ-2016), 19-21 мая, 2016 г., Москва, МАДИ).*

*Главный редактор  
д.т.н. А.Г. Суслов*

УДК 621(075.8)

DOI: 10.12737/article\_5a70c1039b0f19.74626534

**В.Ф. Безъязычный**, д.т.н.

*(Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева, Россия, Ярославская область, 152934, г. Рыбинск, ул. Пушкина, д.53)*

**А.Г. Суслов**, д.т.н.

*(Национальный исследовательский ядерный университет (МИФИ), 115409, Москва, Каширское шоссе, 31)*

E-mail: technology@rsatu.ru

## **Основные понятия и положения в технологии машиностроения**

*Изложены усовершенствованные основные понятия, определения и положения технологии машиностроения, связанные с ее научным развитием. Приведены формулировки этих понятий и их толкование. Даны конкретные примеры использования данных технологических понятий и определений.*

**Ключевые слова:** технология машиностроения; производственный процесс; технологический процесс; технологический способ; технологический метод.

**V.F. Beziyazchny**, D. Eng.

*(Soloviyov State Aircraft Technical University of Rybinsk, 53, Pushkin Str., Rybinsk 152934),*

**A.G. Suslov**, D. Eng.

*(National Research Nuclear Center (MEPI), 31, Kashirskoye Highway, Moscow, 115409)*

## **Basic concepts and regulations in engineering techniques**

*The improved basic concepts, definitions and regulations of engineering technique connected with its scientific development are stated. The formulations of these concepts and their interpretation are shown. Specific examples of the use of the mentioned technological concepts and definitions are presented.*

**Keywords:** engineering technique; industrial process; engineering procedure; technological mode; technological method.

Создание машины как изделия машиностроительного предприятия является резуль-

татом сложного производственного процесса, в течение которого материалы и полуфабрика-

ты, поступающие на предприятие, превращаются в отдельные элементы машины (детали), затем соединяющиеся в машину. Соединение элементов машины между собой производится различными способами, выбор которых зависит от конструкции машины и масштаба выпуска. Сборка машины состоит в соединении первичных элементов машины (деталей) между собой в сборочные единицы (узлы) и в окончательном соединении между собой всех элементов (деталей и узлов). Названия конструктивных элементов изделий определяет ГОСТ 2.101–2016 [1].

*Изделием* называется любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии. Изделия, в зависимости от их назначения, делят на изделия основного производства и на изделия вспомогательного производства.

К изделиям основного производства относятся изделия, предназначенные для поставки (реализации). К изделиям вспомогательного производства относятся изделия, предназначенные только для собственных нужд предприятия, изготавливающего их. Изделия, предназначенные для поставки (реализации) и одновременно используемые предприятием, изготавливающим их для собственных нужд, следует относить к изделиям основного производства.

Устанавливаются следующие виды изделий по конструктивно-функциональным характеристикам: детали; сборочные единицы; комплексы; комплекты (табл. 1).

Изделия, в зависимости от наличия или отсутствия в них составных частей, подразделяются на:

а) неспецифицированные (детали) – не имеющие составных частей;

б) специфицированные (сборочные единицы, комплексы, комплекты) – состоящие из двух и более составных частей.

Понятие «составная часть» следует применять только в отношении конкретного изделия, в состав которого она входит. Составной частью может быть любое изделие (деталь, сборочная единица, комплекс и комплект).

Таким образом, *изделием* называется любой предмет производства, подлежащий изготовлению или изготавливаемый на предприятии. Для автомобильного завода – автомобиль, для авиационного завода – самолет и др. Изделие может быть неделимым или состоять из двух и более частей.

*Деталь* – это изделие, изготавливаемое без применения сборочных операций. Характер-

ный признак детали – отсутствие соединений. Детали получают из заготовок.

*Заготовкой* называют предмет труда, из которого изменением формы, размеров, свойств поверхности или всего материала изготавливают деталь.

*Сборочная единица* – это изделие, составные части которого подлежат соединению.

Анализ конструкции деталей, узлов и машин в целом должен производиться в обязательном порядке перед разработкой технологических процессов механической обработки и сборки. Цели такого анализа заключаются: в улучшении конструкции, выполнении ее более технологичной; выявлении условий работы детали, узла и машины в целом с целью установления технических требований к обработке и сборке, что позволяет проектировать технологический процесс изготовления деталей, обеспечивающий точность формы, размеров, качество обработанных поверхностей и свойств материала детали (например, твердость), вытекающих из условий эксплуатации.

Любая ошибка, допущенная при разработке технических условий и норм точности на машину в целом, влечет за собой ошибки в технических условиях и нормах точности отдельных деталей, что в свою очередь приводит к ошибкам в технологии. В результате этого возрастает себестоимость изготавливаемых изделий в тех случаях, когда точность неоправданно завышена. Поэтому, прежде чем приступить к разработке технологического процесса изготовления машины необходимо детально ознакомиться с ее целевым назначением, условиями эксплуатации и критически проанализировать нормы точности и технические условия. Нередко обнаруживается возможность упрощения конструкции, уменьшения объема обработки и значительного расширения допусков на размеры деталей без ухудшения эксплуатационных свойств.

Совокупность действий, в результате которых сырье, материалы или полуфабрикаты превращаются в готовую продукцию, представляет собой производственный процесс.

*Производственный процесс* – это совокупность всех действий людей и орудий труда, необходимых на данном предприятии для изготовления и ремонта продукции [2]. Изготовление изделий осуществляется на заводах в результате производственного процесса. Таким образом, производственным процессом называется процесс превращения сырья, материалов и полуфабрикатов в готовую заводскую продукцию.

1. Виды изделий и их структура

Вид изделия	Определение
Деталь	Изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала, без применения сборочных операций, например: валик из одного куска металла, литой корпус; пластина из биметаллического листа; печатная плата; маховичок из пластмассы (без арматуры); отрезок кабеля или провода заданной длины. Эти же изделия, подвергнутые покрытиям (защитным или декоративным), независимо от вида, толщины и назначения покрытия, или изготовленные с применением местной сварки, пайки, склейки, сшивки и т. п., например: винт, подвергнутый хромированию; трубка, спаянная или сваренная из одного куска листового материала; коробка, склеенная из одного материала.
Сборочная единица	Изделие, составные части которого подлежат соединению между собой на предприятии-изготовителе сборочными операциями (свинчиванием, сочленением, клепкой, сваркой, пайкой, опрессовкой, развальцовкой, склеиванием, сшивкой, укладкой и т. п.), например: автомобиль, станок, микромодуль, редуктор, сварной корпус, маховичок из пластмассы с металлической арматурой. К сборочным единицам, при необходимости, также относят: а) изделия, для которых конструкцией предусмотрена разборка их на составные части предприятием-изготовителем, например, для удобства упаковки и транспортирования; б) совокупность сборочных единиц или деталей, имеющих общее функциональное назначение и совместно устанавливаемых на предприятии-изготовителе в другой сборочной единице, например: электрооборудование станка, автомобиля, самолета; комплект составных частей врезного замка (замок, запорная планка, ключи); в) совокупность сборочных единиц или деталей, имеющих общее функциональное назначение, совместно уложенных на предприятии-изготовителе в укладочные средства (футляр, коробку и т. п.), которые предусмотрено использовать вместе с уложенными в них изделиями, например: комплект концевых плоскопараллельных мер длины и др.
Комплекс	Два и более специфицированных изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций. Каждое из этих специфицированных изделий, входящих в комплекс, служит для выполнения одной или нескольких основных функций, установленных для всего комплекса, например: цех-автомат; завод-автомат, автоматическая телефонная станция, бурильная установка; изделие, состоящее из метеорологической ракеты, пусковой установки и средств управления; корабль. В комплекс, кроме изделий, выполняющих основные функции, могут входить детали, сборочные единицы и комплекты, предназначенные для выполнения вспомогательных функций, например: детали и сборочные единицы, предназначенные для монтажа комплекса на месте его эксплуатации; комплект запасных частей, укладочных средств, тары и др.
Комплект	Два и более изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями и представляющих набор изделий, имеющих общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера, например: комплект запасных частей, комплект инструмента и принадлежностей, комплект измерительной аппаратуры, комплект упаковочной тары и т. п. К комплектам также относят сборочную единицу или деталь, поставляемую вместе с набором других сборочных единиц и (или) деталей, предназначенных для выполнения вспомогательных функций при эксплуатации этой сборочной единицы или детали, например: осциллограф в комплекте с укладочным ящиком, запасными частями, монтажным инструментом, сменными частями.

В производственный процесс входят не только процессы, связанные с превращением сырья в продукцию, но и вспомогательные процессы, обеспечивающие возможность изготовления продукции: транспортировку, контроль, хранение, сбыт, изготовление приспособлений и т. п. Процессы изготовления заготовок, обработки их и сборки являются технологическими процессами. *Технологический процесс* изготовления деталей есть часть производственного процесса.

В машиностроении производственный процесс включает в себя управление, конструирование, организацию и подготовку производст-

ва, планирование, снабжение, изготовление заготовок, обработку деталей машин, сборку деталей в узлы и общую сборку машины, контроль, транспортирование, хранение, сбыт продукции предприятия.

Процессы изготовления заготовок, обработки деталей и их сборки можно охарактеризовать как рабочие процессы видоизменения предметов труда и изготовления изделия.

Обработка деталей для придания им точных размеров и формы, а также определенной, требуемой чертежом или техническими условиями шероховатости поверхности, выполняется или снятием стружки, или без сня-

тия стружки, электрическими, химико-механическими и другими видами обработки. Для получения соответствующих механических и физических свойств деталей применяют различные виды термической обработки. Таким образом, при изготовлении деталей приходится встречаться с самыми разнообразными технологическими методами в зависимости от тех требований, которые предъявляются к детали, т.е. производственный процесс подразделяется на технологические процессы.

*Технологический процесс* – это часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и определению состояния предмета труда [2]. Таким образом, технологическим процессом обработки называется совокупность действий, непосредственно связанных с изменением формы, размеров или состояния материала обрабатываемых деталей от момента поступления заготовок в обработку до получения готовой детали или сборки из них изделия в виде сборочной единицы. Технологический процесс механической обработки деталей должен проектироваться и выполняться таким образом, чтобы удовлетворялись требования к деталям, обеспечивающие правильную работу собранной машины.

Технологический процесс объединяет различные технологические способы и методы. *Технологический способ* – это совокупность технологических методов, объединенных единством физического процесса получения заготовок, их обработки и сборки. Например: способ получения заготовок литьем, способ получения заготовок обработкой давлением, способ лезвийной обработки заготовок, способ абразивной обработки заготовок, способ отделочно-упрочняющей обработки заготовок поверхностно-пластическим деформированием и т.д. *Технологический метод* – это способ получения заготовок, их обработки и сборки, обусловленный определенными техническими условиями. Например: метод получения отливок литьем в песчаные формы, метод получения отливок по выплавляемым моделям, метод получения поковок штамповкой, метод получения поковок свободной ковкой, метод обработки заготовок точением, метод обработки заготовок фрезерованием, метод шлифования наружных поверхностей вращения, метод хонингования и т.д.

Различают технологические процессы изготовления исходных заготовок, термической обработки, механической обработки заготовок и сборки изделий. Средствами выполнения

технологического процесса, под которыми понимается совокупность орудий труда, необходимых для осуществления технологического процесса является технологическое оборудование и технологическая оснастка [2].

*Технологическим оборудованием* называются средства технологического оснащения, в которых для выполнения определенной части технологического процесса размещаются материалы или заготовки и средства воздействия на них. Примерами технологического оборудования являются металлорежущие станки, литейные машины, пресса, испытательные стенды и т. д.

Средства, дополняющие технологическое оборудование, называют *технологической оснасткой* (приспособления, инструмент, измерительные инструменты и т. д.)

Технологические процессы выполняются на рабочих местах. *Рабочее место* – это элементарная единица структуры предприятия, где размещены исполнители работы, обслуживаемое технологическое оборудование, часть конвейера, на ограниченное время оснастка и предметы труда [3]. Таким образом, рабочим местом называется площадь, на которой выполняется работа. Рабочий пост может иметь одно или несколько рабочих мест. Так, например, при обработке детали на фрезерном станке средних размеров на рабочем посту имеется один рабочий и, следовательно, одно рабочее место. При холодной штамповке крупногабаритных деталей из листового материала у прессы может быть два рабочих места и т. д.

Структура технологических процессов изготовления деталей машин разнообразна. Технологический процесс содержит большое количество различных элементов, которые в определенном сочетании образуют технологический процесс. Правильный выбор элементов технологического процесса и установление наилучшего их сочетания – задача довольно сложная, решаемая при проектировании процесса изготовления изделия.

Технологический процесс состоит из операций, выполняемых в определенной последовательности. Различают операции технологические, транспортные и контрольные.

*Технологическая операция* – это законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте [2]. Она служит основной расчетной единицей для определения производительности и планирования загрузки оборудования, а также для технического нормирования труда. Таким образом, технологическая операция – часть технологи-

ческого процесса обработки сырья, одной заготовки или полуфабриката (или совокупности нескольких одновременно обрабатываемых заготовок или полуфабрикатов), выполняемая одним рабочим или группой рабочих на одном рабочем месте. Технологическая операция характеризуется неизменностью объекта производства, оборудования и рабочих исполнителей. Изменение одного из этих условий обозначает переход к другой операции. Операции в технологическом процессе нумеруются в порядке их выполнения.

В зависимости от того, какое число операций входит в технологический процесс – большее или меньшее, судят о степени концентрации технологического процесса. Чем меньше число операций, тем они сложнее, а степень концентрации технологического процесса выше.

Технологические операции называются:

а) по видам обработки – токарная обработка детали, фрезерная обработка, слесарная обработка, холодная штамповка, цементация, гальваническое никелирование и т. д.

б) по существу выполняемой обработки – сверление отверстия  $\varnothing 50$  мм, шлифование вала  $\varnothing 50$  мм, нарезание резьбы  $M24 \times 0,75$  и т. д.

в) по видам применяемого оборудования – обработка на агрегатном станке с ЧПУ, автоматная обработка и т. д.

*Транспортная операция* – часть технологического процесса обработки сырья, заготовок или полуфабрикатов. Это совокупность действий, связанных с перемещением сырья, заготовок или полуфабрикатов от одной технологической или контрольной операции к другой.

*Контрольная операция* – часть технологического процесса обработки сырья, заготовок или полуфабриката. Это совокупность действий по проверке соответствия размера (или нескольких размеров), формы, качества обработанной поверхности или физико-механических свойств сырья заготовки, полуфабриката или детали требованиям чертежа или техническим условиям.

Технологические, транспортные и контрольные операции могут быть ручными (выполняемые рабочим вручную), механизированными и автоматизированными, выполняемыми специальными машинами полуавтоматами и автоматами.

Структура технологических операций может быть различной. Составные части операции: установы, позиции, переходы, рабочие ходы, вспомогательные приемы.

*Установ* – это часть технологической опе-

рации, выполняемая при неизменном закреплении детали или нескольких одновременно обрабатываемых деталей. Выполнение обработки заготовки при другом ее закреплении и другом положении относительно приспособления или станка – другой установ. Так, например, обтачивание вала при закреплении в центрах – первый установ, обтачивание вала после его поворота и закреплении в центрах для обработки другого конца – второй установ. При каждом повороте заготовки вокруг оси на какой-либо угол в приспособлении создается новый установ.

Следует подчеркнуть, что в термин «установ» вкладывается и другой смысл: установ – процесс укладки заготовки перед обработкой на станок или приспособление. Не следует смешивать эти два понятия.

Установы в пределах одной операции обозначаются порядковыми номерами 1, 2, 3 и т. д.

*Позиция* – это фиксированное положение, занимаемое неизменно закрепленной обрабатываемой заготовкой или собираемой сборочной единицей совместно с приспособлением относительно инструмента или неподвижной части оборудования при выполнении определенной части операции [2]. При обработке деталей на современных высокопроизводительных станках позицию можно рассматривать применительно к детали, применительно к станку и применительно к инструменту. Таким образом:

– «позицией» называется каждое из различных положений детали, за период обработки, в котором она фиксируется на станке вместе с приспособлением;

– «позицией» называется каждое из положений стола станка, силовых головок, суппортов или других рабочих органов, в котором они фиксируются за один цикл работы станка;

– «позицией» называется каждое из различных положений инструмента относительно станка в тех случаях, когда изменение положения инструмента производится при помощи специального механизма (например, различают позиции револьверной головки при обработке детали на револьверном станке).

Различают рабочие позиции, установочные и холостые. Установочные позиции предназначены для установки заготовки и закрепления ее в приспособлении. На холостых позициях обработка не производится.

На каждой из рабочих позиций производится тот или иной вид обработки – черновая, получистовая, чистовая или отделочная обработка одного или нескольких участков по-

верхности детали. Поэтому позиция характеризует собой определенную часть технологической операции.

Операции разделяются на переходы. *Переходом* называется законченная часть технологической операции, которая выполняется над одной или несколькими одновременно обрабатываемыми поверхностями одним или несколькими режущими инструментами при неизменном режиме резания. Операция может состоять из одного или нескольких переходов. Изменение поверхности, инструмента или режима резания обуславливает новый переход.

Переходы могут быть: простые – при обработке одним инструментом и сложные – при обработке несколькими одновременно работающими инструментами.

Применение сложных переходов, при которых одновременно обрабатывается несколько участков поверхности заготовки различными режущими инструментами (например, сверление нескольких отверстий одного диаметра многошпиндельной сверлильной головкой), обеспечивает сокращение времени обработки и повышение производительности. Это одно из прогрессивных направлений развития технологии станочной обработки. Переходы в пределах одной установки или позиции нумеруются порядковыми номерами в той последовательности, в которой они выполняются. Переходы разделяются на рабочие ходы.

*Рабочим ходом* называется часть операции, выполняемая при одном перемещении инструмента (или набора инструментов) относительно обрабатываемой поверхности, считая это перемещение в направлении подачи. Рабочий ход состоит из одного или нескольких одинаковых и непосредственно следующих один за другим проходов.

При обработке детали режущим инструментом выполнить стремление вести обработку того или иного участка в один проход не всегда удается. Количество проходов зависит от величины припуска, величины режущей кромки инструмента, твердости обрабатываемого материала, мощности станка, жесткости технологической системы СПИЗ, требуемой точности обработки и других факторов.

Рассматривая структуру операции, можно видеть, что обязательное условие выполнения операции (установка, позиции, перехода, рабочего хода или прохода) заключается в выполнении таких действий, как установка заготовки перед обработкой и снятие детали после обработки, пуск станка, остановка станка, подвод или отвод инструмента от заготовки,

переключение револьверной головки, включение подачи или ее выключение, перемещение стола или суппорта станка, поворот и фиксация стола, проверка размеров и формы детали контрольно-измерительным инструментом или контрольно-измерительным приспособлением и т. д. Эти элементы операции называются *вспомогательными ходами*. Это заключительная часть технологической операции, состоящая из действий человека и оборудования, которые не сопровождаются изменением свойств предметов труда, но необходимы для выполнения технологического перехода [2].

В зависимости от типа применяемых станков вспомогательные ходы могут выполняться: рабочим вручную; механизмами станка при участии рабочего (например, перемещение суппорта с револьверной головкой на револьверном станке); станком автоматически, без участия рабочего (станки – автоматы). Вспомогательные ходы разделяются на рабочие приемы.

*Рабочим приемом* называется наименьшая возможная для измерения во времени часть вспомогательного хода, которая является отдельным законченным движением, например: «протянуть руку», «взять деталь», «нажать кнопку пускателя» при выполнении вспомогательных приемов вручную, «подвод суппорта», «поворот револьверной головки» и т.п.

Учитывая широкое применение в промышленности отделочно-упрочняющих методов обработки заготовок поверхностным пластическим деформированием, следует уточнить понятие общего припуска на обработку. Под *общим припуском на обработку* следует понимать поверхностный слой материала заготовки, удаляемый или пластически деформируемый, для обеспечения требуемой точности размера и качества поверхности детали.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **ГОСТ 2.101-2016.** Единая система конструкторской документации. М.: Стандартинформ, 2016.
2. **ГОСТ 3.1109-82.** Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий. М.: Стандартинформ, 2012.
3. **ГОСТ 14.004-83.** Технологическая подготовка производства. Термины и определения основных понятий. М.: Стандартинформ, 2008.

## REFERENCES

1. **RSS 2.101-2016.** Uniform System of Design Documentation. M.: Standardinform, 2016.

2. RSS 3.1109-82. Uniform System of Technological Documentation. Terms and Definitions of Basic Concepts. М.: Standardinform, 2012.

3. RSS 14.004-83. Technological Preproduction. Terms and Definitions of Basic Concepts. М.: Standardinform, 2008.

Рецензент д.т.н. Б.М. Базров

УДК 621.9.015

DOI: 10.12737/article\_5a70c103c3eaf0.91595644

О.А. Горленко, д.т.н.

(ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»  
241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7)

E-mail: goa-bgtu@mail.ru

## Метод пробных заготовок в обеспечении параметров шероховатости поверхности деталей машин

*Рассмотрен метод технологического обеспечения параметров шероховатости деталей машин, суть которого заключается в обработке пробных заготовок по заранее намеченному плану, разработке математико-статистической модели связи параметров шероховатости с технологическими факторами и определении уровней последних, гарантирующих достижение заданных значений параметров шероховатости при обработке основной партии заготовок.*

**Ключевые слова:** детали машин; параметры шероховатости поверхности; технологическое обеспечение; экспериментально-статистический подход.

О.А. Gorlenko, D. Eng.

(FSBEI HE "Bryansk State Technical University", 7, 50 Years of October Avenue, Bryansk, 241035)

## Method of test blanks in assurance of surface roughness parameters of machine parts

*A method for technological support of roughness parameters for machine parts based on an experimental statistical approach is considered. The essence of the method consists in the processing of test blanks (or their test surfaces) according to a pre-planned scheme, in the roughness parameter assessment of test blanks, in the development of mathematical statistical model of the connection of roughness parameters with technological factors and on the basis of the model given a definition of their levels ensuring obtaining the roughness parameter values specified at machining a basic batch blanks. The peculiarities in technological support of relative supporting lengths of a rough surface profile and also a method for the formation of complex functional parameters of a rough surface are touched upon. The necessity for the creation of portable control measuring systems allowing the realization in practice this method is emphasized.*

**Keywords:** machine parts; parameters of surface roughness; technological support; experimental statistical approach.

Одной из задач технологического обеспечения параметров качества поверхностного слоя (в частности параметров шероховатости) деталей машин является выбор методов и назначение режимов обработки их рабочих поверхностей. При этом приходится учитывать, что каждому методу обработки (с учётом влияния технологической наследственности) присущи свои количественные и качественные характеристики и направления неровно-

стей, а назначаемые режимы обработки должны обеспечить не только заданную производительность при наименьшей себестоимости, но и регламентированные параметры качества поверхностного слоя [1 – 4].

Чаще всего режимы обработки (например, скорость резания и подача), параметры и характеристики применяемого инструмента назначаются по нормативам, составленным на основе опыта специалистов в области техноло-

гической подготовки производства. Такие нормативы, как правило, не учитывают многообразия встречающихся на практике условий обработки и поэтому не могут гарантировать обеспечение заданных параметров качества поверхностного слоя деталей машин.

В этой связи одним из методов в технологическом обеспечении параметров качества поверхностного слоя, в частности параметров шероховатости, деталей машин является рассматриваемый ниже метод пробных заготовок, базирующийся на экспериментально-статистическом подходе [5].

Следует заметить, что известен метод пробных заготовок, применяемый в практике как метод настройки станков для обеспечения заданной точности рабочих поверхностей деталей машин. Суть этого метода заключается в том, что установка режущих инструментов производится на определённый настроечный размер, а правильность настройки оценивается по результатам обработки некоторого количества (от 2 до 8 и более) пробных заготовок. Настройка признаётся правильной, если среднее арифметическое размеров пробных заготовок находится в пределах некоторого допуска на настройку.

Решение задач технологического обеспечения параметров шероховатости во многом зависит от того, какие параметры шероховатости регламентированы конструктором и как они заданы. В соответствии с ГОСТ 2.309 – 73 «Межгосударственный стандарт. Единая система конструкторской документации. Обозначения шероховатости поверхности» на чертежах деталей шероховатость поверхности регламентируется либо одним из высотных параметров ( $Ra$ ,  $Rz$  или  $Rmax$ ), либо одним из шаговых параметров ( $Sm$  или  $S$ ), либо одним из параметров  $tp$ , характеризующим распределение материала неровностей по высоте.

При указании наибольшего значения параметра шероховатости в обозначении приводят параметр шероховатости без предельных отклонений, например  $Ra\ 0,4$ . При указании наименьшего значения параметра шероховатости после обозначения параметра следует указывать «*min*», например  $Ra\ 3,2\ min$ . При указании диапазона значений параметра шероховатости поверхности в обозначении шероховатости приводят пределы значений параметра, размещая их в две строки, например  $Ra_{0,4}^{0,8}$ . При этом в верхней строке приводят значение параметра, соответствующее более

грубой шероховатости. При указании номинального значения параметра шероховатости поверхности в обозначении приводят это значение с предельными отклонениями, например:  $Rz\ 50_{-10\%}$ ;  $Sm\ 0,63^{+20\%}$ ;  $t_{50}\ 50 \pm 20\%$ .

При указании двух и более параметров шероховатости поверхности в обозначении шероховатости значения параметров записывают сверху вниз в следующем порядке: параметр высоты неровностей профиля, параметр шага неровностей профиля, относительная опорная длина профиля.

Следует обратить внимание на то, что в соответствии с изменённой редакцией ГОСТ 2789 – 73 «Межгосударственный стандарт. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики» параметр  $Rz$  (наибольшая высота профиля) определяется как сумма высоты наибольшего выступа профиля  $Rp$  и глубины наибольшей впадины профиля  $Rv$  в пределах базовой длины  $l$ , а параметр  $Rmax$  (полная высота профиля) – как сумма высоты наибольшего выступа профиля  $Rp$  и глубины наибольшей впадины профиля  $Rv$  в пределах длины оценки  $L$ . При этом шаг неровностей профиля определяется как отрезок средней линии профиля, содержащий неровность профиля, а шаг местных выступов профиля – как отрезок средней линии между проекциями на неё наивысших точек соседних местных выступов профиля. В этой связи параметр  $Sm$  (средний шаг неровностей профиля) оценивается как среднее значение шага неровностей профиля в пределах базовой длины, а параметр  $S$  (средний шаг местных выступов профиля) – как среднее значение шага местных выступов профиля в пределах базовой длины.

Суть предлагаемого метода пробных заготовок в обеспечении параметров шероховатости поверхности заключается в следующем:

1. Обработка пробной партии заготовок (или пробных поверхностей заготовок) по плану полного  $2^k$  или дробного  $2^{k-p}$  факторного эксперимента, где  $k$  – число рассматриваемых технологических факторов, влияющих на изменчивость параметров шероховатости,  $p$  – то же, влияние которых смешано с влиянием взаимодействий факторов. Исходя из того, что число пробных заготовок не должно быть слишком большим, наиболее приемлемыми являются планы полных факторных экспериментов  $2^2$ ,  $2^3$  и дробных –  $2^{3-1}$ ,  $2^{4-1}$ .

Число повторений  $u$  при этом также не должно быть слишком большим, поэтому можно рекомендовать принимать в зависимо-

сти от плана эксперимента  $u = 2, 3, 4$  так, чтобы общее число обрабатываемых заготовок  $n = uN = u2^k$  или  $n = uN = u2^{k-p}$  не превышало 8 или 16, или, в крайнем случае, 24. Число пробных заготовок может быть значительно сокращено, когда опыты с повторениями, например  $u = 4$ , проводятся только в центре плана эксперимента (технологические факторы при этом принимают значения  $x_j = 0$ ).

2. Измерение параметров шероховатости  $R_1, R_2, \dots, R_i$  пробных заготовок.

3. Разработка математико-статистической модели способа обработки пробных заготовок, которую можно представить в виде следующей системы уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \hat{R} &= a_{10} + \sum_1^k a_{1j} x_j; \\ \hat{R} &= a_{20} + \sum_1^k a_{2j} x_j; \\ \dots &= \dots + \dots; \\ \hat{R} &= a_{i0} + \sum_1^k a_{ij} x_j, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $\hat{R}$  – предсказываемые значения параметра качества;  $a_{j0}$  и  $a_{ij}$  – коэффициенты;  $x_j$  – технологические факторы, определяющие условия обработки  $j = 1, 2, \dots, k$ , число факторов  $k \geq j$ .

Уровни варьирования факторов  $x_j$  верхний и нижний, обозначаемые соответственно +1 и -1, принимают на основе опыта и справочных данных по режимам обработки. Уравнения (1) должны содержать факторы, влияние которых на параметры качества  $R_i$  является существенным на принятом уровне значимости  $\alpha$ , быть статистически значимыми и адекватными. Результаты математико-статистического анализа каждого из уравнений (1) следует представлять в виде табл. 1. Фактор  $x_j$  подлежит включению в уравнения (1), если

фактическое значение  $F_j$  отношения больше критического значения.

$$F_j = \frac{M_j}{S_e^2} > F_{1;N(u-1);(\alpha)}$$

Уравнения (1) в целом значимы, если

$$F_{\text{пер}} = \frac{M_{\text{пер}}}{S_{\text{ост}}^2} > F_{m;uN-m-1;(\alpha)}$$

и адекватны, если

$$F_{\text{ад}} = \frac{S_{\text{ад}}^2}{S_e^2} > F_{N-m-1;N(u-1);(\alpha)}$$

При отсутствии повторений ( $u = 1$ ) удаётся проверить только значимость уравнений (1). Если уравнения оказались неадекватными, необходимо, как известно, перенести центр плана эксперимента или изменить интервалы варьирования факторов. Если связи между параметрами качества и технологическими факторами оказываются незначимыми, но адекватными, то уравнения (1) представляют в виде  $\hat{R}_j = \bar{R}_j$ , где  $\bar{R}_j = \sum_N \sum_u R_{iNu} / Nu$  – среднее значение параметра качества.

Когда опыты по обработке пробных заготовок повторяют только в центре плана, при  $x_j = 0$ , в качестве дисперсии воспроизводимости принимают следующее:

$$s_e^2 = \frac{1}{u-1} \left[ \sum_u R_{i0u}^2 - \left( \sum_u R_{i0u} \right)^2 / u \right]$$

с  $N(u - 1)$  степенями свободы.

Значения коэффициентов  $a_{j0}$  и  $a_{ij}$  в уравнениях (1) вычисляют с помощью выражения:

$$a_{ij} = \frac{\sum_N \sum_u R_{iNu} x_j}{Nu}$$

при определении коэффициента  $a_{j0}$  принимают условно для всех опытов  $x_j = +1$ .

Мерой тесноты связи между параметрами шероховатости и технологическими факторами является коэффициент множественной детерминации  $R^2 = S_{\text{пер}} / S_0$ , оценивающий долю вариации параметров качества, обуславливаемой технологическими факторами; влияние же отдельного фактора может быть оценено с помощью коэффициентов  $d_j^2 = S_j / S_0$ .

4. Определение уровней технологических факторов  $x_j^*$ , позволяющих обеспечить регламентированные значения параметров шероховатости  $R^*$ . При этом следует учитывать то, как заданы параметры шероховатости: либо максимальным значением, либо минимальным значением, либо номинальным значением с предельными отклонениями.

1. Дисперсионный анализ эксперимента  $2^k$  или  $2^{k-p}$  с  $u$  повторениями по обработке пробных заготовок (для параметра  $R_i$ )

Источник вариации параметров качества	Число степеней свободы	Сумма квадратов	Средний квадрат	$F$ – отношение
Факторы:				
$x_1$	1	$S_1$	$M_1 = S_1$	$F_1 = M_1 / s_{\text{ост}}^2$
$x_2$	1	$S_2$	$M_2 = S_2$	$F_2 = M_2 / s_{\text{ост}}^2$
...	...	...	...	...
$x_j$	1	$S_j$	$M_j = S_j$	$F_j = M_j / s_{\text{ост}}^2$
...	...	...	...	...
$x_k$	1	$S_k$	$M_k = S_k$	$F_k = M_k / s_{\text{ост}}^2$
Регрессия ( $m$ значимых факторов из $k$ )	$m$	$S_{\text{рег}} = \sum_1^m S_j$	$M_{\text{рег}} = S_{\text{рег}} / m$	$F_{\text{рег}} = M_{\text{рег}} / s_{\text{ост}}^2$
Остаток	$uN - m - 1$	$S_{\text{ост}} = S_0 - S_{\text{рег}}$	$s_{\text{ост}}^2 = \frac{S_{\text{ост}}}{uN - m - 1}$	–
Неадекватность	$N - m - 1$	$S_{\text{ад}} = S_{\text{ост}} - S_e$	$s_{\text{ад}}^2 = \frac{S_{\text{ад}}}{N - m - 1}$	$F_{\text{ад}} = \frac{s_{\text{ад}}^2}{s_e^2}$
Воспроизводимость	$N(u - 1)$	$S_e$	$s_e^2 = \frac{S_e}{N(u - 1)}$	–
Сумма	$uN - 1$	$S_0$	–	–

**Примечания:** 1.  $N = 2^k$  или  $N = 2^{k-p}$  – число опытов по обработке пробных заготовок.

2. Суммы квадратов вычисляются по следующим уравнениям:

$$S_j = \sum_N \sum_u R_{iNu} x_j / Nu ; S_0 = \sum_N \sum_u R_{iNu}^2 - \left( \sum_N \sum_u R_{iNu} \right)^2 / Nu ; S_e = \sum_N \left[ \sum_u R_{iNu} - \left( \sum_u R_{iNu}^2 \right) / u \right],$$

где  $R_{iNu}$  – наблюдаемое значение параметра качества  $R_i$  при повторении  $u$  опыта  $N$ .

В этой связи, прежде всего, необходимо определить доверительные интервалы  $\pm \Delta R^*$ , характеризующие технологические возможности принятых условий обработки пробных заготовок:

$$\Delta R^* = t_{(1-\alpha/2);f} \sqrt{s_e^2 / u}, \quad (2)$$

где  $t_{(1-\alpha/2);f}$  – критерий Стьюдента для принятого значения  $\alpha$  и числа степеней свободы  $f = N(u - 1)$ ;  $s_e^2$  – дисперсия воспроизводимости;  $u$  – число повторений (см. табл. 1).

Если параметр шероховатости задан максимальным значением  $R_{\text{max}}$ , то уровни технологических факторов выбираются таким обра-

зом, чтобы обеспечивалось номинальное значение  $R_{\text{max}} - \Delta R^*$ ; если задан минимальным значением  $R_{\text{min}}$ , то должно обеспечивать номинальное значение  $R_{\text{min}} + \Delta R^*$ . Если параметр шероховатости задан номинальным значением (на основе которого определяются уровни технологических факторов  $x_j^*$ ) с предельными отклонениями ( $ES_R$  и  $EI_R$ ), то интервал допуска  $T_R = ES_R - EI_R$  и доверительный интервал  $\pm \Delta R^*$  должны перекрываться полностью или частично. В противном случае следует изменять условия обработки пробных заготовок.

**5.** Принятие решения об обработке основной партии заготовок или изменении условий обработки пробных заготовок.

Свои особенности имеет решение задачи

технологического обеспечения относительных опорных длин  $tp$  шероховатой поверхности, характеризующие распределение материала неровностей в верхних слоях до уровня средней линии профиля. Как известно, неровности, расположенные до уровня 30...40 % от  $Rz$  (примерно до уровня средней линии) оказывают наибольшее влияние на эксплуатационные свойства деталей машин, в частности на их износостойкость и контактную жёсткость.

Начальный участок опорной кривой может быть аппроксимирован зависимостью

$$tp = tm \left( \frac{P}{100} \frac{Rz}{Rp} \right)^v = tm \left( \frac{P}{100} \frac{k_z}{k_p} \right)^v,$$

где  $tm$  – относительно опорная длина профиля шероховатости поверхности в %;  $P$  – значение уровня сечения профиля в %;  $Rz$  – наибольшая высота профиля;  $Rp$  – высота наибольшего выступа;  $k_z = Rz / Ra$  и  $k_p = Rp / Ra$ ;  $v$  – показатель, характеризующий кривизну начального участка опорной кривой. Как известно

$$v = \frac{tm}{50} \frac{Rp}{Ra} - 1 = \frac{tm}{50} k_p - 1.$$

Следует заметить, что параметр  $tm$  имеет склонность стабилизироваться относительно значений  $tm = 50$  % (для технологических методов обработки резанием) и  $tm = 60$  % (для методов поверхностного пластического деформирования). Параметры  $k_z$  и  $k_p$  также принимают определённые значения для различных технологических методов обработки (в силу тесной корреляционной зависимости между параметрами  $Rz$  и  $Ra$ ,  $Rp$  и  $Ra$ ).

Характер распределения материала неровностей в верхних слоях зависит, таким образом, в большей мере от соотношения  $k_p$ . При  $tm = 50$  %, если  $k_p = Rp / Ra > 2$ , то  $v > 1$ , если  $k_p = 2$ ,  $v = 1$ , и если  $k_p < 2$ , то  $v < 1$  (рис. 1).

Также свои особенности имеет решение задачи технологического обеспечения совокупности функциональных параметров шероховатости поверхности. Решение такой задачи во многом упрощается при объединении совокупности индивидуальных параметров в комплексный параметр.

Известен, например, комплексный параметр шероховатости поверхности Крагельского–Комбалова  $\Delta = Rz / \rho b^{1/v}$ , где  $\rho$  – радиус

скругления вершин поверхностей;  $b$  и  $v$  – параметры опорной кривой профиля ( $tp = b\rho^v$ ).

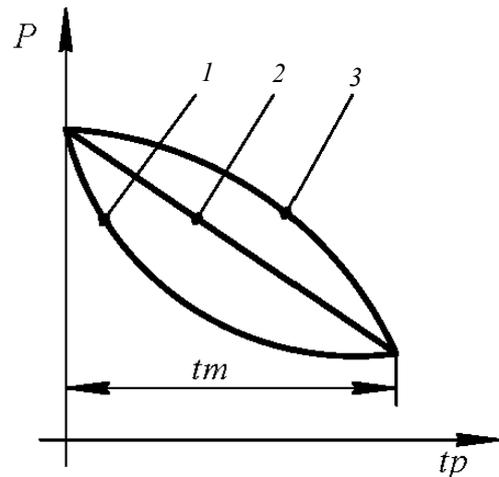


Рис. 1. Характер распределения материала неровностей:

$1 - k_p > 2$ ;  $2 - k_p = 2$ ;  $3 - k_p < 2$

Применительно к конкретным условиям эксплуатации деталей машин, комплексный параметр шероховатости  $Q$  может быть определён на основе регрессионных моделей результатов испытаний пробных деталей. Например, если для эксплуатационного показателя  $J$  получено уравнение связи в зависимости от параметров шероховатости  $R_j$ .

$$J = b_0 R_1^{b_1} R_2^{b_2} R_3^{b_3},$$

то очевидно,  $J = b_0 Q$ , где  $Q = R_1^{b_1} R_2^{b_2} R_3^{b_3}$ . Для такого комплексного показателя шероховатости  $Q$  могут быть определены уровни технологических факторов  $x_j^*$  в соответствии с уравнениями (1).

Для широкого применения на практике рассматриваемых методов технологического обеспечения параметров шероховатости поверхности ответственных деталей машин необходимо создание портативных контрольно-измерительных систем, позволяющих на основе профилографирования поверхностей пробных заготовок определять ординаты их профиля относительно средней линии, проводимой так, чтобы в пределах базовой длины среднеквадратическое отклонение ординат профиля до этой линии было минимальным. То есть такие системы должны создаваться на базе микро ЭВМ и оснащаться блоками оперативной оптимизации условной обработки.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рыжов, Э.В. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин: монография. – Киев: Наук. думка, 1984. – 272 с.
2. Суслов, А.Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей: монография. – М.: Машиностроение, 1987. – 208 с.
3. Суслов, А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин: монография. – М.: Машиностроение, 2000. – 320 с.
4. Суслов, А.Г., Дальский, А.М. Научные основы технологии машиностроения: научная монография. – М.: Машиностроение, 2002. – 684 с.
5. Суслов, А.Г., Горленко, О.А. Экспериментально-статистический метод обеспечения качества поверхности деталей машин: монография. М.: Машиностроение-1, 2003. – 303 с.
6. Маталин, А.А. Технология машиностроения: учебник для машиностроительных вузов. – Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1985. – 496 с.

## REFERENCES

1. Ryzhov, E.V. *Technological Methods for Wear-resistance Increase in Machine Parts*: monograph. – Kiev: Scientific Thought, 1984. – pp. 272.
2. Suslov, A.G. *Technological Support of State Parameters in Surface Layer of Parts*: monograph. – M.: Mechanical Engineering, 1987. – pp. 208.
3. Suslov, A.G. *Quality of Surface Layer in Machine Parts*: monograph. – M.: Mechanical Engineering, 2000. – pp. 320.
4. Suslov, A.G., Dalsky, A.M. *Scientific Fundamentals of Engineering Techniques*: scientific monograph. – M.: Mechanical Engineering, 2002. – pp. 684.
5. Suslov, A.G., Gorlenko, O.A. *Experimental Statistical Method in Assurance of Surface Quality in Machine Parts*: monograph. M.: Mechanical Engineering-1, 2003. – pp. 303.
6. Matalin, A.A. *Engineering Techniques*: textbook for engineering colleges. – L.: Mechanical Engineering, Leningrad Branch, 1985. – pp. 496.

Рецензент д.т.н. С.Г. Бишутин

УДК 62-97/-98

DOI: 10.12737/article\_5a70c104131317.37567110

В.Г. Гусев, д.т.н.

(Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых,  
600000, г. Владимир, ул. Горького, 87)

E-mail: prof\_gusev@mail.ru

## Эффективная технология обработки наплавленных поверхностей корпусных деталей

*Проанализирована известная технология механической обработки наплавленных поверхностей корпусных деталей грузовых железнодорожных вагонов. Вскрыты и устранены её недостатки путем разработки технологии, основанной на применении высокоэффективного комбинированного режущего инструмента. Комбинированные режущие инструменты обеспечивают высокопроизводительную механическую обработку наплавленных поверхностей за один рабочий ход, а нулевые задние углы увеличивают ресурс работы дорогих твердосплавных пластин в два раза. Режущие инструменты испытаны в процессе механической обработки названных поверхностей, что подтвердило их высокую эффективность.*

**Ключевые слова:** механическая обработка; корпусная деталь; наплавленная поверхность; комбинированный режущий инструмент; производительность.

V.G. Gusev, D. Eng.

(Stoletovs State University of Vladimir 87, Gorky Str., Vladimir, 600000)

## Efficient technology for processing weld surfaces in case parts

*A well-known technology of machining weld surfaces in case parts of freight cars is analyzed. Its drawbacks are defined and eliminated by means of the development of techniques based on the use of high-capacity combined cutters. Combined cutters ensure a high-capacity machining of weld surfaces during one travel and zero back angles increase expensive hard-alloy plate life by a factor of two. Cutters are tested in the course of mentioned surface machining which confirmed their high efficiency.*

**Keywords:** machining; case part; weld surface; combined cutter; productivity.

Корпусные детали грузовых железнодорожных вагонов (надрессорные балки, боковые рамы и др.) являются крупногабаритными, поэтому по экономическим причинам после износа несущих (рабочих) поверхностей их не заменяют на новые, а подвергают восстановлению. Основными технологическими операциями ремонтного восстановления крупногабаритных деталей являются наплавка изношенных поверхностей и последующая их механическая обработка, в результате чего несущие поверхности приобретают требуемые размеры и качество, что позволяет восстановленным деталям в дальнейшем выполнять своё служебное назначение.

Для обеспечения высокой износостойкости несущие поверхности крупногабаритных деталей наплавляют твердым сплавом, в результате чего припуск, подлежащий снятию лезвийными инструментами, характеризуется высокой твердостью (310...410 НВ) и стохастическим изменением величины (до 5 мм) как в осевом, так и окружном направлении.

Механическая обработка таких поверхностей вызывает серьезные трудности, поскольку исходные геометрические погрешности заготовок, перманентное изменение толщины срезаемого слоя и твердости материала приводят к экстремальным условиям резания, при которых возникают резонансные явления и значительно снижается виброустойчивость технологической системы [1].

Ситуация усугубляется тем, что в процессе обработки нестабильных по форме, исходной геометрии и твердости поверхностных слоев, используют устаревший режущий инструмент, который представляет собой металлическую пластину с двумя напаянными на нее твердосплавными режущими пластинами и который предназначен для дифференцированной обработки, например, лишь одной цилиндрической или плоской поверхности. Так, для обработки наплавленного отверстия под шкворневой палец надрессорных балок грузовых железнодорожных вагонов и прилегающего к отверстию торца бурта используют два режущих инструмента.

Ударный характер работы инструмента вызывает интенсивную вибрацию элементов системы «станок – приспособление – инструмент – заготовка», которая приводит к необходимости назначения минимально возможного режима резания, допускаемого станком.

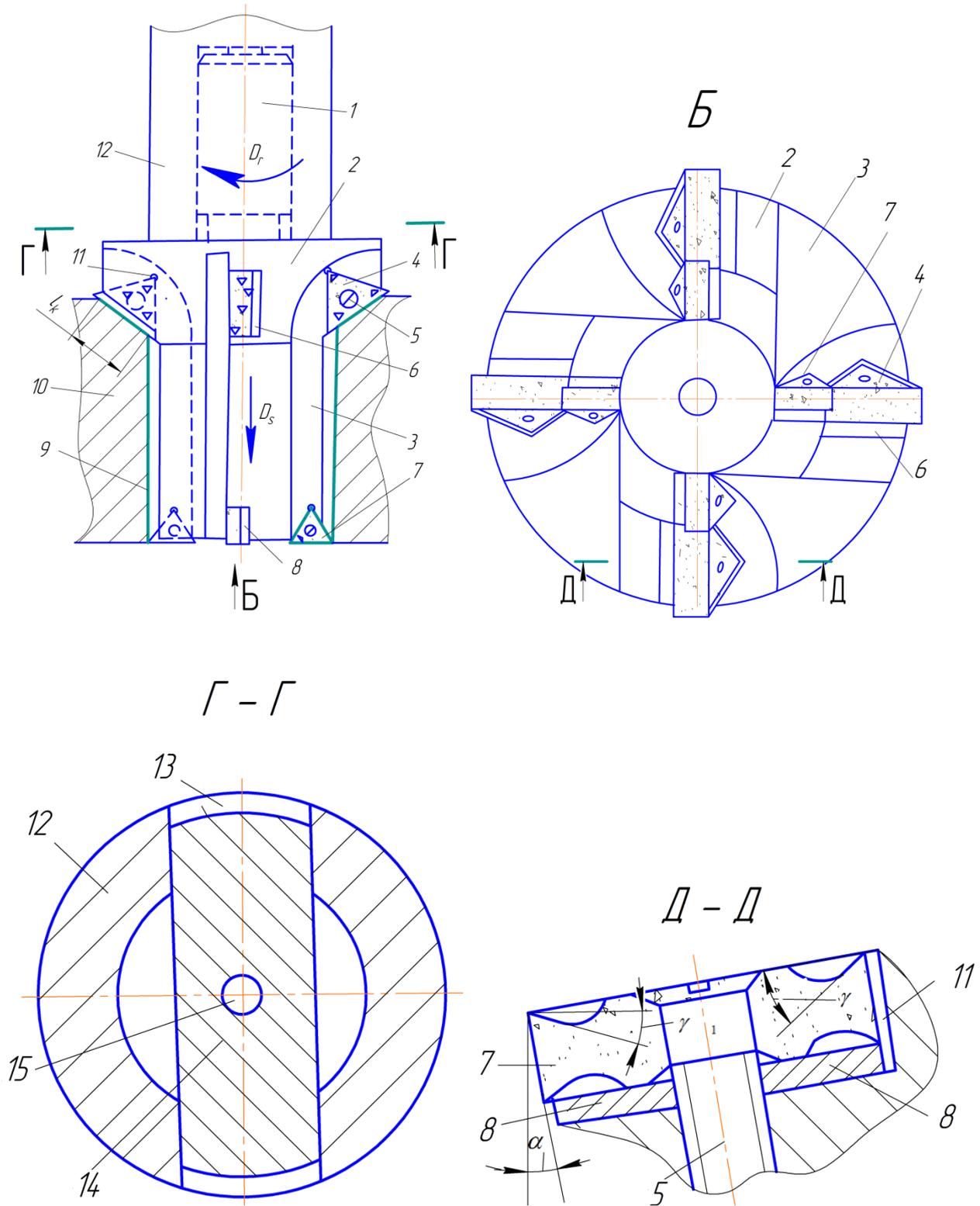
Частая смена инструментов при переходе

от обработки отверстия к торцу бурта и обратно, необходимость переточки изношенных напаянных твердосплавных пластин и настройки режущего инструмента на размер приводят к существенному увеличению вспомогательного времени на технологическую операцию, а минимальные режимы резания – к возрастанию машинного времени на обработку. Кроме этого, в условиях экстремально резания не обеспечивается требуемая микрогеометрия обработанных поверхностей, поэтому в действующем производстве используется дополнительная операция абразивной обработки.

Таким образом, известная технология механической обработки наплавленных поверхностей крупногабаритных деталей является крайне неэффективной и характеризуется большим расходом режущего инструмента, низкой производительностью, качеством обработанных поверхностей и высокой технологической себестоимостью процесса обработки.

Устранение отмеченных недостатков возможно путем разработки эффективной технологии, основанной на использовании комбинированных режущих зенкеров, оснащенных многогранными неперетачиваемыми твердосплавными режущими пластинами с износостойкими покрытиями. Во Владимирском государственном университете разработаны конструкции зенкеров для механической обработки конического, цилиндрического отверстия под шкворневой палец, одновременной обработки цилиндрического отверстия и торца бурта надрессорных балок. Одновременная обработка названных наплавленных поверхностей выполняется за один рабочий ход инструмента, что позволяет существенно сократить машинное время на выполнение технологической операции.

Комбинированный зенкер для обработки наплавленного цилиндрического и конического отверстий надрессорной балки [2, 3] состоит из корпуса, цилиндрическая ступень 1 (рис. 1) которого служит для базирования его в шпинделе станка, и ступени 2, в которой профрезерованы стружечные канавки 3 и гнезда для размещения твердосплавных многогранных неперетачиваемых пластин 4, закрепляемых в гнездах, например, винтами 5. Для предохранения корпуса от износа в гнезда устанавливают опорные пластины 6, твердость которых меньше твердости корпуса.



**Рис. 1. Конструкция комбинированного зенкера и схема обработки наплавленных поверхностей:**

1 – ступень для базирования зенкера в шпинделе; 2 – ступень со стружечными канавками; 3 – стружечная канавка; 4 и 7 – режущие пластины; 5 – винт; 6, 8 – опорные пластины; 9 – обрабатываемое отверстие; 10 – заготовка; 11 – малое отверстие; 12 – шпиндель; 13 – паз; 14 – пластина; 15 – центральное отверстие

В области нижнего торца корпуса расположен ряд режущих пластин 7, установленных на опорные пластины 8 и предназначенных для обработки отверстия 9 заготовки 10. Для исключения контакта вершин режущих пластин 4 и 7 с корпусом зенкера и сколов вершин, вызванных таким контактом, просверлены отверстия 11 диаметром 1,5...2,0 мм.

Общее число режущих пластин 4 и 7 в инструменте составляет от 8 до 12 (рис. 1, вид Б) в зависимости от диаметра обрабатываемого отверстия.

Поэтому в процессе работы возникают значительные силы и моменты резания, для преодоления которых со стороны торца шпинделя 12 профрезерованы пазы 13 (рис. 1, сечение Г-Г), а на верхнем торце корпуса зенкера – двухсторонние лыски. В результате этого на торце корпуса образуется пластина 14, которая сопрягается с пазами 13 шпинделя и обеспечивает передачу инструменту больших сил и крутящих моментов от привода главного движения станка. Центральное отверстие 15, выполненное на всей длине зенкера, служит для размещения болта крепления инструмента в шпинделе 12 станка.

Многогранные режущие пластины 4 и 7 изготавливают с задним углом  $\alpha > 0$  или  $\alpha = 0$ . Угол  $\alpha > 0$  исключает интенсивное трение режущей пластины об обрабатываемый материал по задней ее поверхности, чего нельзя сказать об угле  $\alpha = 0$ . Однако положительный задний угол не позволяет использовать режущие пластины с обеих сторон, что является основным недостатком пластин с углом  $\alpha > 0$ .

Режущие пластины с нулевыми задними углами можно использовать с двух сторон, при этом увеличивается число режущих лезвий, а, следовательно, и ресурс работы пластин в два раза. По этой причине в зенкере использованы многогранные неперетачиваемые пластины со статическими задними углами, равными нулю.

Задние углы можно создать в процессе резания, но для этого необходимо наклонить режущую пластину так, чтобы между ее задней поверхностью и плоскостью резания возникал динамический задний угол  $\alpha$  (рис. 1, сечение Д-Д). Наклонять режущие пластины следует в двух плоскостях, при этом необходимо наклонно выполнить также и гнезда корпуса инструмента, что усложняет его конструкцию.

Но, благодаря появлению современного многофункционального оборудования с числовым программным управлением, изготовление корпуса с наклонными в двух плоскостях гнездами не представляет серьезной технологической проблемы. Достаточно предусмотреть в управляющей программе обрабатывающего центра с ЧПУ поворот заготовки на требуемый угол относительно осей А и В [4 – 6].

Образование заднего угла путем наклона режущей пластины приводит к уменьшению динамического переднего угла до значения  $\gamma_1 = \gamma - \alpha$ . Угол наклона режущей пластины равен заднему углу  $\alpha$ . В этой связи выбор режущих пластин с нулевыми статическими задними углами возможен, например, при значении статического переднего угла  $\gamma = 8... 12^\circ$ . В этом случае динамический задний угол можно назначить в пределах  $5... 7^\circ$ , а передний динамический угол  $\gamma_1$  – в пределах  $4... 7^\circ$ .

В процессе проектирования комбинированного зенкера проведено моделирование упругих перемещений режущих пластин при зенкерении наплавленного отверстия в программе Cosmos Works [7], в результате чего установлены незначительные их деформации, что положительно отражается на геометрической точности обработанных поверхностей.

Проанализируем основное и вспомогательное время, связанное с механической обработкой наплавленных поверхностей надressорных балок по известной технологии и технологии, основанной на использовании разработанного комбинированного зенкера для условий серийного ремонтного производства. Будем рассматривать лишь изменяющиеся статьи затрат штучно-калькуляционного времени на выполнение, например, операции обработки цилиндрического и конического отверстий надressорной балки.

Основное время на выполнение указанной технологической операции по известной технологии определяется по формуле

$$T_{O1} = \frac{l_O}{n_O S_{O1}} + \frac{l_t}{n_t S_t} = \frac{l_{O1} + l_{O2} + l_{O3}}{n_O S_O} + \frac{l_{t1} + l_{t2}}{n_t S_t}, \quad (1)$$

где  $l_O, l_t$  – длина резания при обработке цилиндрического и конического отверстия соответственно;  $n_O, S_{O1}, n_t, S_t$  – частота

вращения и вертикальная подача режущего инструмента при обработке цилиндрического и конического отверстия соответственно;  $l_{O1}$ ,  $l_{O2}$ ,  $l_{O3}$  – длина врезания, обрабатываемой поверхности и перебега при обработке цилиндрического отверстия соответственно;  $l_{t1}$ ,  $l_{t2}$  – длина врезания и толщина припуска в осевом направлении, подлежащая снятию, с целью получения требуемого размера конического отверстия соответственно.

Основное время при использовании технологии обработки комбинированным зенкером определяется по формуле

$$T_{O2} = \frac{l_O}{n_O S_{O2}} = \frac{l_{O1} + l_{O2} + l_{O3}}{n_O S_{O2}}, \quad (2)$$

где  $S_{O2}$  – вертикальная подача комбинированного зенкера при обработке цилиндрического отверстия.

В начале цикла обработки цилиндрического и конического отверстий комбинированным зенкером в работу вступают режущие пластины 7 (см. рис. 1), которые снимают припуск почти на всей длине отверстия. Когда до полного окончания обработки отверстия остается длина перемещения режущих пластин 7, равная ходу инструмента, обеспечивающему обработку конического отверстия, в работу вступают режущие пластины 4. Обработка цилиндрического и конического отверстий заканчивается одновременно в момент выхода режущих пластин 7 из цилиндрического отверстия, в это время режущие пластины 4 занимают по высоте положение, соответствующее заданным размерам конического отверстия.

Сравнение равенств (1) и (2) показывает, что обработка наплавленных поверхностей по предложенной технологии позволяет уменьшить основное (машинное) время, вследствие совмещения обработки цилиндрического и конического отверстий, а также более высокой вертикальной подачи инструмента.

Поскольку обработка комбинированным зенкером происходит за один рабочий ход, то член  $\frac{l_t}{n_t S_t}$  в уравнении (2) отсутствует, что свидетельствует об уменьшении основного времени на обработку по предложенной технологии. Кроме этого, комбинированный инструмент имеет больше режущих пластин, поэтому при одинаковой вертикальной подаче на зуб  $S_z$  минутная подача предложенного

зенкера будет больше в  $Z_2/Z_1$  раз ( $Z_1$ ,  $Z_2$  число режущих пластин в известном и комбинированном инструменте), что также способствует сокращению основного времени, а, следовательно, повышению производительности обработки.

Вспомогательное время для сравниваемых вариантов, связанное с использованием режущего инструмента, также существенно отличается друг от друга. Для реализации известной технологии обработки цилиндрического и конического отверстий необходимо иметь два режущих инструмента, каждый из которых подлежит установке и закреплению в шпинделе станка, настройке на заданный режим резания и выполняемый размер. После обработки цилиндрического отверстия инструмент заменяют на инструмент для обработки конического отверстия, что также требует затрат вспомогательного времени.

При обработке наплавленного твердого сплава происходит размерный износ режущих пластин, при этом инструмент с напаянными пластинами, применяемый в условиях производства, необходимо затачивать.

При обработке по предложенной технологии замена изношенных режущих лезвий сводится к элементарным действиям рабочего: вывернуть винты, повернуть каждую из режущих пластин на угол  $\beta = 360^\circ/k$  ( $k$  – число режущих лезвий, расположенных на одной стороне твердосплавной пластины) и вновь ввернуть винты, при этом не требуется их переточка.

Вспомогательное время на выполнение указанных приемов работы по предложенной технологии значительно меньше времени на переточку напаянных режущих пластин, закрепление инструмента в шпинделе станка и настройку его на заданный размер.

Оперативное время, равное сумме основного и вспомогательного времени, также меньше при использовании предложенной технологии механической обработки наплавленных отверстий надрессорных балок. Следует учесть, что ресурс работы напаянных режущих пластин значительно меньше по сравнению с ресурсом быстросменных пластин, в особенности при двухстороннем использовании пластин с нулевыми задними углами.

Из сказанного выше следует, что штучно-калькуляционное время на выполнение технологической операции механической обработки наплавленных отверстий надрессорных балок существенно меньше при

использовании предложенной технологии и комбинированного режущего инструмента.

Спроектированные комбинированные зенкеры для одновременной обработки цилиндрического и конического отверстий (рис. 2) и обработки цилиндрического отверстия и торцев бурта (рис. 3) были изготовлены и испытаны в условиях Владимирского вагонного депо и НПО «Экспериментальный завод» г. Реж Свердловской области.



Рис. 2. Реальная модель комбинированного зенкера для обработки цилиндрического и конического отверстий

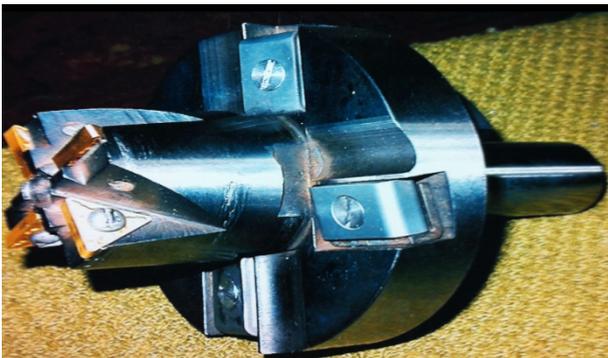


Рис. 3. Реальная модель комбинированного зенкера для обработки цилиндрического отверстия и торца бурта надрессорной балки

Обрабатывали на станке ФБ-01 наплавленное цилиндрическое отверстие и торец бурта двумя пластинчатыми зенкерами с напаянными твердосплавными пластинами и разработанным комбинированным зенкером (см. рис. 3). Использовали треугольные режущие пластины *TNMG 16-04-16 MR* фирмы *Sandvik Coromant* и отечественные призматические твердосплавные пластины *T5K10*. Общее число режущих пластин – 8, четыре из которых использовали для зенкерования цилиндрического отверстия диаметром 55 мм, оставшиеся 4 – для подрезания торца бурта. Режим резания: частота вращения зенкера  $500 \text{ мин}^{-1}$ , верти-

кальная подача варьировалась в пределах  $(0,1 \dots 0,5) \text{ мм/об}$ .

Обработка наплавленных поверхностей отверстия (рис. 4) показала, что максимальная вертикальная подача, допускаемая зенкером, применяемым в условиях производства, составила  $0,15 \text{ мм/об}$ . Комбинированным зенкером было обработано 22 надрессорных балки при вертикальной подаче  $0,50 \text{ мм/об}$ . Качество обработанных поверхностей бурта и отверстия комбинированным зенкером соответствовало технологическим требованиям, вследствие чего дополнительная механическая обработка абразивным инструментом не потребовалась.

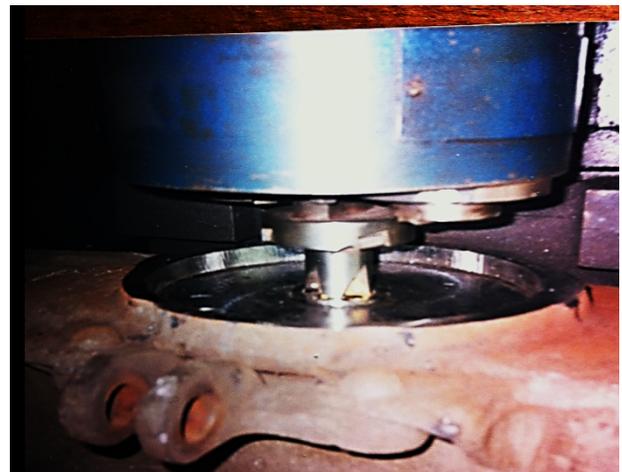


Рис. 4. Комбинированный зенкер в процессе работы

Двухстороннее использование многогранных неперетачиваемых пластин обеспечило увеличение ресурса работы комбинированного зенкера в 10 – 12 раз по сравнению с зенкером с напаянными пластинами, применяемым в условиях производства. Увеличение рабочей вертикальной подачи с  $0,15$  до  $0,50 \text{ мм/об}$  при использовании комбинированного зенкера позволило повысить производительность обработки отверстий надрессорных балок в 2,3 раза.

На основании полученных результатов испытаний комбинированный зенкер рекомендован к использованию в ремонтном производстве надрессорных балок, что исключает необходимость закупки режущего инструмента у иностранного производителя.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васин, С.А. Прогнозирование виброустойчивости инструмента при точении и фрезеровании. – М.: Машиностроение, 2006. – 383 с.
2. Пат. №2457925 РФ, МПК В23В 29/034. Режущий инструмент / Гусев В.Г., Селиванов А.М., Швагирев П.С.;

заявл. 08.04.2011, опублик. 10.08.2012. Бюл. № 22.

3. Гусев, В.Г., Селиванов, А.М. Режущий инструмент для восстановительной обработки отверстий с неравномерным припуском: Материалы Международной научно-практической конференции «Современные материалы, техника и технология»; Курск: ЮЗГУ, 2011. – С. 99–101. – ISBN 978-5-905556-05-0.

4. Морозов, В.В., Гусев, В.Г. Программирование обработки деталей на современных многофункциональных токарных станках с ЧПУ: учеб. пособ. Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2009. – 236 с. – ISBN 978-5-89368-979-2.

5. Морозов, В.В., Гусев, В.Г. Программирование обработки деталей на современных фрезерных станках с ЧПУ: учеб. пособ.– Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2010. – 240 с. ISBN 978-5-9984-0025-4.

6. Морозов, В.В., Гусев, В.Г. Программирование обработки деталей на обрабатывающих центрах: учеб. пособ. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2011. – 366 с. – ISBN 978-5-9984-0165-7.

7. Гусев, В.Г., Лазарев, А.В., Селиванов, А.М. Моделирование упругих перемещений режущих пластин при зенкерованиях отверстий в программе COSMOS WORKS // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2012. – № 2-6 (292). – С. 86–91.

## REFERENCES

1. Vasin, S.A. *Prediction of Tool Vibration Resistance at*

*Turning and Milling*. – М.: Mechanical Engineering, 2006. – pp. 383.

2. Pat. No. 2457925 the RF, IPC V23V 29/034. Cutter / Gusev V.G., Selivanov A.M., Shvagirev P.S.; applied 08.04.2011, published 10.08.2012. Bull. No.22.

3. Gusev, V.G., Selivanov, A.M. Cutters for reducing machining of holes with uneven allowance. *Transactions of the Inter. Scientif. Pract. Conf. "Modern Materials, Engineering and Techniques"*; Kursk; SWSU, 2011. – pp. 99-101. - ISBN 978-5-905556-05-0.

4. Morozov, V.V., Gusev, V.G. *Parts Machining Programming on NC Modern Multifunctional Lathes*: manual, Vladimir: Publishing House of Vladimir State University, 2009. – pp. 236 - ISBN 978-5-89368-979-2.

5. Morozov, V.V., Gusev, V.G. *Parts Milling Programming on NC Modern Milling Machines*: manual – Vladimir: Vladimir State University Publishers, 2010. – pp. 240. ISBN 978-5-9984-0025-4.

6. Morozov, V.V., Gusev, V.G. *Programming of Parts Machining in Processing Centers*: manual – Vladimir: Vladimir State University Publishers, 2011. – pp. 366 - ISBN 978-5-9984-0165-7.

7. Gusev, V.G., Lazarev, A.V., Selivanov, A.M. Simulation of cutter plate elastic motions at hole chamfering in COSMOS WORKS program // *Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology*. 2012. – No.2-6 (292). – pp. 86-91.

Рецензент д.т.н. В.В. Морозов

УДК 519.234.2

DOI: 10.12737/article\_5a70c1043e3ec9.32007483

А.А. Моисеев, к.т.н.

(НПП «Технос – РМ» Россия, г. Мытищи, ул. Колпакова, 2 к. 15)

E-mail: slow.coach@yandex.ru

## Оценка эффективности технологического процесса по доверительным границам вероятности брака

Разработан метод оценки доверительных границ вероятности брака по результатам выборочных испытаний. Метод базируется на интерпретации указанной вероятности как параметра биномиального распределения числа забракованных объектов. Использование стьюдентова распределения позволяет рассчитывать критическое значение для ограниченного числа испытаний. При увеличении числа испытаний в серии зависимость критического значения от этого числа практически исчезает и доверительные границы можно интерпретировать как объективные характеристики используемой технологии обработки. Верхняя доверительная граница в этих условиях является критерием эффективности анализируемой технологии – чем эта граница ниже, тем технология эффективнее в отношении доли брака. В свою очередь, нижняя граница характеризует процент брака, не связанный с технологией. Основной областью применения предложенного метода является сравнительный анализ результатов выборочного контроля для рабочей и контрольной групп, характеризующих эффективность технологии.

**Ключевые слова:** выборочные испытания; вероятность брака; доверительные границы; доверительный интервал; критическое значение; стьюдентово распределение; контрольная группа.

## Assessment of engineering process efficiency on trust limits of rejects probability

A method is developed for the assessment of rejects probability trust limits according to the results of sample tests. The method is based on the interpretation of the probability mentioned as a parameter of the binomial value distribution of rejected objects. The application of Student distribution allows computing a critical value for the limited number of tests. At test number increase in the series the dependence of a critical value upon this number practically disappears and trust limits may be interpreted as objective characteristics of the processing technology used. The upper trust limit under these conditions is an efficiency criterion of the technology under analysis – the lower this limit, the more efficient technology is regarding rejects share. In its turn, the lower limit characterizes rejects percentage which is not connected with technology. A basic field of the application of the method offered is a comparative analysis of results of the random control for working and control groups characterizing technology efficiency.

**Keywords:** sample tests; rejects probability; trust limits; confidence interval; critical value; Student distribution; test group.

Одной из основных задач технической статистики является объективная оценка эффективности используемых производственных технологий. Поскольку целью совершенствования этих технологий является, в частности, снижение брака, естественным критерием эффективности оказывается снижение соответствующей вероятности. При этом использование точечной оценки этой вероятности в качестве критерия нежелательно вследствие ее ненадежности. Предпочтительной альтернативой является интервальная оценка вероятности брака с заданным уровнем доверия.

В данной работе ставится задача оценить доверительные границы данной вероятности по результатам выборочных испытаний. Исходными данными для оценивания являются: число испытаний  $n$ ; число забракованных объектов  $x$ ; доверительная вероятность  $P$ .

Вероятность брака является параметром биномиального распределения [1] для числа  $x$  бракованных объектов. Для этого числа строится стьюдентово отношение [2]:

$$t = \frac{x - np}{\sqrt{np(1-p)}} \quad (1)$$

При расчете доверительных границ величина отношения  $t$  сопоставляется критическому значению [3], соответствующему доверительной вероятности  $P$ , и удовлетворяет соотношению:

$$P = T_{n-1}(t) - T_{n-1}(-t) = 2T_{n-1}(t) - 1$$

или:

$$t = T_{n-1}^{-1}\left(\frac{P+1}{2}\right), \quad (2)$$

где  $T_{n-1}, T_{n-1}^{-1}$  – прямое и обратное распределения Стьюдента [1].

Соотношение (1) с подставленным соотно-

шением (2) рассматривается как уравнение относительно искомым доверительных границ вероятности брака. Оно трансформируется в квадратное уравнение вида:

$$(n+t^2)p^2 - (2x+t^2)p + \frac{x^2}{n} = 0 \quad (3),$$

корнями которого являются нижняя  $pl$  и верхняя  $ph$  доверительные границы вероятности.

Как корни квадратного уравнения они удовлетворяют следующим соотношениям:

$$pl = \frac{2x+t^2 - \sqrt{(2x+t^2)^2 - 4(n+t^2)\frac{x^2}{n}}}{2(n+t^2)};$$

$$ph = \frac{2x+t^2 + \sqrt{(2x+t^2)^2 - 4(n+t^2)\frac{x^2}{n}}}{2(n+t^2)}.$$

Предложенная выше методика пригодна при ограниченном количестве испытаний  $n \leq 30$ . В соответствии с законом больших чисел [1] при  $n > 30$  распределение Стьюдента вырождается в нормальное, и зависимость критического значения  $t$  от числа испытаний практически исчезает. В этой ситуации доверительные границы можно рассматривать как объективные характеристики технологии. Верхняя граница  $ph$  характеризует качество технологии – чем граница ниже, тем технология совершеннее. В свою очередь величина  $pl$  имеет смысл оценки вероятности брака, не связанного с анализируемой технологией.

Результаты расчета доверительных интервалов для возможных чисел бракованных объектов и различных доверительных вероятностей отображены в табл. 1 для рабочей группы и в табл. 2 – для контрольной, характеризующей исходную технологию.

1. Рабочая серия

<i>x</i>	<i>P</i> = 0,9		<i>P</i> = 0,95		<i>P</i> = 0,99	
	<i>pl</i>	<i>ph</i>	<i>pl</i>	<i>ph</i>	<i>pl</i>	<i>ph</i>
0	0	0,104813	0	0,145582	0	0,238336
<b>1</b>	<b>0,008531</b>	<b>0,167897</b>	<b>0,006593</b>	<b>0,207342</b>	<b>0,004129</b>	<b>0,29514</b>
2	0,025776	0,222266	0,020922	0,261367	0,014084	0,346118
3	0,047336	0,272321	0,03955	0,311092	0,027891	0,393244
4	0,071714	0,319559	0,061119	0,357876	0,044568	0,4375
5	0,098182	0,364706	0,084928	0,402421	0,063544	0,479458
6	0,126324	0,408179	0,110559	0,445144	0,084453	0,519482
7	0,155879	0,450239	0,137743	0,486313	0,10705	0,557818
8	0,186672	0,491061	0,166301	0,526108	0,131163	0,594638
9	0,218584	0,530764	0,196106	0,564657	0,156669	0,630065
10	0,251532	0,569431	0,227071	0,602046	0,183482	0,664185
11	0,285462	0,607116	0,259136	0,638334	0,211544	0,697056
12	0,320338	0,643854	0,292266	0,673557	0,240817	0,728716
13	0,356146	0,679662	0,326443	0,707734	0,271284	0,759183
14	0,392884	0,714538	0,361666	0,740864	0,302944	0,788456
15	0,430569	0,748468	0,397954	0,772929	0,335815	0,816518
16	0,469236	0,781416	0,435343	0,803894	0,369935	0,843331
17	0,508939	0,813328	0,473892	0,833699	0,405362	0,868837
18	0,549761	0,844121	0,513687	0,862257	0,442182	0,89295
19	0,591821	0,873676	0,554856	0,889441	0,480518	0,915547
20	0,635294	0,901818	0,597579	0,915072	0,520542	0,936456
21	0,680441	0,928286	0,642124	0,938881	0,5625	0,955432
22	0,727679	0,952664	0,688908	0,96045	0,606756	0,972109
23	0,777734	0,974224	0,738633	0,979078	0,653882	0,985916
24	0,832103	0,991469	0,792658	0,993407	0,70486	0,995871
25	0,895187	1	0,854418	1	0,761664	1

2. Контрольная серия

<i>x</i>	<i>P</i> = 0,9		<i>P</i> = 0,95		<i>P</i> = 0,99	
	<i>pl</i>	<i>ph</i>	<i>pl</i>	<i>ph</i>	<i>pl</i>	<i>ph</i>
0	0	0,196368	0	0,267491	0	0,417829
1	0,015623	0,304381	0,011765	0,36842	0,006883	0,500511
2	0,048087	0,395552	0,038125	0,454753	0,024051	0,572907
3	0,089593	0,477682	0,073286	0,532286	0,0486	0,637923
<b>4</b>	<b>0,137475</b>	<b>0,553436</b>	<b>0,114948</b>	<b>0,603318</b>	<b>0,079076</b>	<b>0,697012</b>
5	0,190499	0,624047	0,161976	0,668983	0,114677	0,750975
6	0,248052	0,690131	0,21379	0,729863	0,154967	0,80025
7	0,309869	0,751948	0,270137	0,78621	0,19975	0,845033
8	0,375953	0,809501	0,331017	0,838024	0,249025	0,885323
9	0,446564	0,862525	0,396682	0,885052	0,302988	0,920924
10	0,522318	0,910407	0,467714	0,926714	0,362077	0,9514
11	0,604448	0,951913	0,545247	0,961875	0,427093	0,975949
12	0,695619	0,984377	0,63158	0,988235	0,499489	0,993117
13	0,803632	1	0,732509	1	0,582171	1

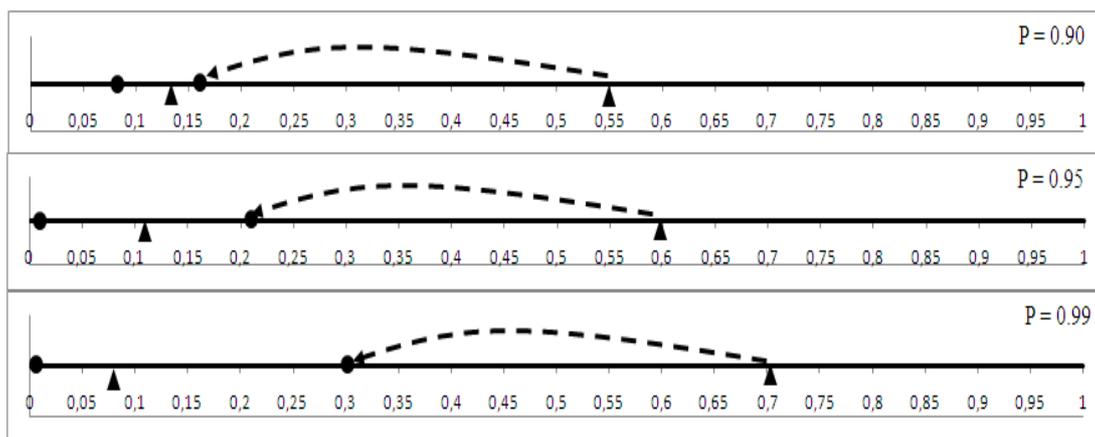


Рис. 1. Доверительные интервалы

Примеры наблюдаемых ситуаций и контрольной групп отображены жирным шрифтом в табл. 1 для рабочей серии и жирным шрифтом – в табл. 2 для контрольной. Для наглядности эти результаты отображены также графически на рис. 1. Кружками отображены доверительные границы для рабочей серии и треугольниками – для контрольной. Как и следовало ожидать, увеличение доверительной вероятности ведет к расширению доверительных интервалов. Главным же результатом сравнения является то, что влияние усовершенствованной технологии проявляется в существенном снижении верхней доверительной границы, указанном стрелкой. Это означает, что указанная технология является более совершенной в отношении доли брака.

#### Выводы:

1. Разработан метод оценки доверительных границ вероятности брака по результатам выборочных испытаний. Метод базируется на интерпретации указанной вероятности как параметра биномиального распределения числа забракованных объектов.

2. Сопоставление стьюдентова отношения для биномиального распределения критическому значению для заданной доверительной вероятности позволяет интерпретировать выражение для указанного отношения как уравнение относительно вероятности брака. Решения этого уравнения и определяют искомые доверительные границы.

3. Использование стьюдентова распределения позволяет рассчитывать критическое значение для ограниченного числа испытаний. При увеличении числа испытаний зависимость критического значения от этого числа

практически исчезает и доверительные границы можно интерпретировать как объективные характеристики технологии в отношении доли брака.

4. Верхняя доверительная граница в этих условиях является критерием эффективности анализируемой технологии – чем эта граница ниже, тем технология совершеннее. В свою очередь, нижняя граница характеризует долю брака, не связанного с технологией. Основной областью применения предложенного метода является сравнительный анализ результатов выборочных испытаний, полученных для рабочей и контрольной серий, с целью установления совершенства технологии в отношении доли брака.

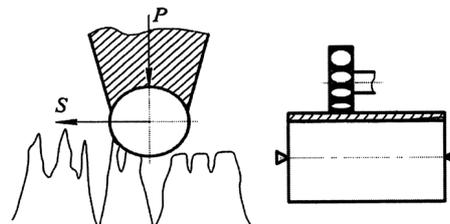
#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Большев, Л.Н., Смирнов, Н.В.** Таблицы математической статистики. – М.: Наука, 1983. – 416 с.
2. **Пугачев, В.С.** Теория вероятности и математическая статистика. – М.: Наука, 1979. – 496 с.
3. **Чистяков, В.П.** Курс теории вероятностей. – М.: Наука, 1987. – 240 с.
4. **Вадзинский, Р.Н.** Статистические вычисления в среде Excel. – СПб.: Питер, 2008. – 608 с.

#### REFERENCES

1. **Bolshev, L.N., Smirnov, N.V.** *Tables of Mathematical Statistics*. – M.: Science, 1983. – pp. 416.
2. **Pugachyov, V.S.** *Theory of Probability and Mathematical Statistics*. – M.: Science, 1979. – pp. 496.
3. **Chistyakov, V.P.** *Course of Probability Theory*. – M.: Science, 1987. – pp. 240.
4. **Vadzinsky, R.N.** *Statistical Computations in Excel Environment*. – S-Pb.: Peter, 2008. – pp. 608.

Рецензент д.т.н. О.А. Горленко



УДК 621.91.048.6

DOI: 10.12737/article\_5a70c104d3f4f1.45757834

**А.П. Бабичев**, д.т.н.,  
**Д.Д. Бирюков**, аспирант,  
**А.М. Вобу**, аспирант,  
**А.А. Григоренко**, магистрант,  
**А.А. Ширин**, магистрант  
(Донской государственный технический университет  
344010, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина.)  
E-mail: vibrotech@mail.ru

## **Исследование изменения микротвердости материала по глубине призматического образца при виброволновом нагружении**

*Представлены результаты исследований влияния виброволнового нагружения на изменение состояния материала образца призматической формы на различном расстоянии. Полученные результаты подтверждают влияние виброволнового нагружения на изменение состояния материала сплошного образца.*

**Ключевые слова:** виброволновая обработка; микротвердость; глубина упрочнения.

**A.P. Babichev**, D. Eng.,  
**D.D. Biryukov**, Post graduate student,  
**A.M. Vobu**, Post graduate student,  
**A.A. Grigorenko**, Master degree student,  
**A.A. Shirin**, Master degree student

(Don State Technical University 1, Gagarin Sq., Rostov-upon-Don, 344010)

## **Investigations of material micro-hardness changes in depth of prismatic sample at vibro-wave loading**

*The investigation results of vibro-wave loading impact upon material state measurements of the prismatic sample at different distances are presented. The results obtained confirm a vibro-wave loading impact upon material state changes of a solid sample.*

**Keywords:** vibro-wave processing; micro-hardness; strengthening depth.

В продолжение исследований влияния виброволнового воздействия на изменение состояния материала нагружаемого (обрабатываемого) изделия [1, 2, 3] в предлагаемой статье представлены результаты исследования виброволнового нагружения образца призматической формы и рассмотрены при этом изменения состояния материала по всей протя-

женности (длине) образца от лицевой нагружаемой поверхности до противоположной (тыльной) поверхности последовательно, через каждый промежуток длины призматического образца (рис. 1). Обрабатываемый образец закреплялся в оправке таким образом, чтобы открытой для виброволнового воздействия оставалась только одна поверхность 10

(лицевая).

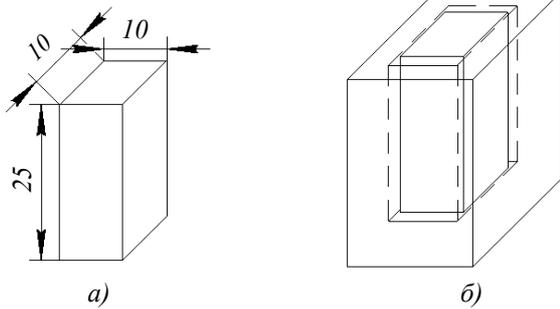


Рис. 1. Форма и размеры образца (а), и расположение его в оправке (б)

Обработка (виброволновое воздействие) осуществлялась в среде стальных шаров  $d = 7$  мм в свободном состоянии в рабочей камере с объемом 10 дм<sup>3</sup>. Продолжительность обработки 120 мин; режим нагружения (обработки): амплитуда колебаний 3 мм, частота

33 Гц. Результаты исследований приведены в табл. 1 и на схеме (рис. 2).

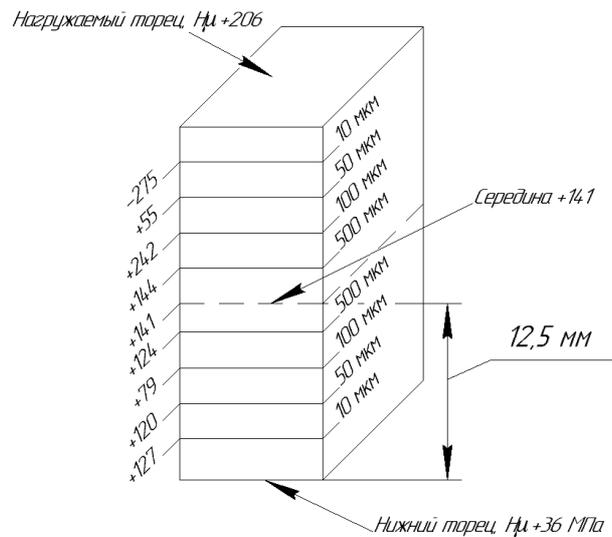


Рис. 2. Схема расположения замеров, количественных изменений микротвердости Нц

### 1. Результаты исследований

Расположение мест измерений (по глубине)	Результаты измерений		Характеристика и величина измерения Нц, (+) (-)
	Нц исходное	Нц после обработки	
Нагружаемый торец	1571	1777	+206 МПа
Измерение Нц на глубине 10 мкм	1941	1666	-275 МПа
50 мкм	1780	1725	+55 МПа
100 мкм	1807	1562	+242 МПа
500 мкм	1627	1771	+144 МПа
0,5 Н (середина)	1483	1624	+ 141 МПа
500 мкм	1643	1767	+124 МПа
100 мкм	1669	1748	+79 МПа
50 мкм	1680	1800	+120 МПа
10 мкм	1580	1707	+127 МПа
Тыльная сторона (торец)	1643	1679	+36 МПа

Как следует из рис. 2 измерение Нц осуществлялось с двух сторон: сверху с нагружаемой поверхности и снизу (тыльной поверхности); шаг измерений: 10, 50, 100, 500 мкм и середина – 12,5 мм.

При такой схеме измерений охватывался относительно небольшой участок (по глубине) от верхнего и нижнего торца соответственно по 660 мкм. Для получения дополнительной информации обработан в аналогичных условиях такой же образец с интервалом измерений по высоте образца 5,10,12 мм соответственно от верхнего (нагружаемого) торца и нижнего (тыльная поверхность). Результаты

измерений представлены на рис. 3.

Полученные результаты подтверждают влияние виброволнового нагружения на изменение состояния материала сплошного образца. В частности отмечено, что по всей глубине (длине) образца происходит повышение микротвердости; исключение составило лишь значительное снижение Нц на уровне 10 мкм под лицевой (нагружаемой) поверхностью (см. рис. 2).

Предполагается, что на уровне 10 мкм получен перенаклеп под нагружаемой поверхностью вследствие взаимодействия прямых и отраженных волн.

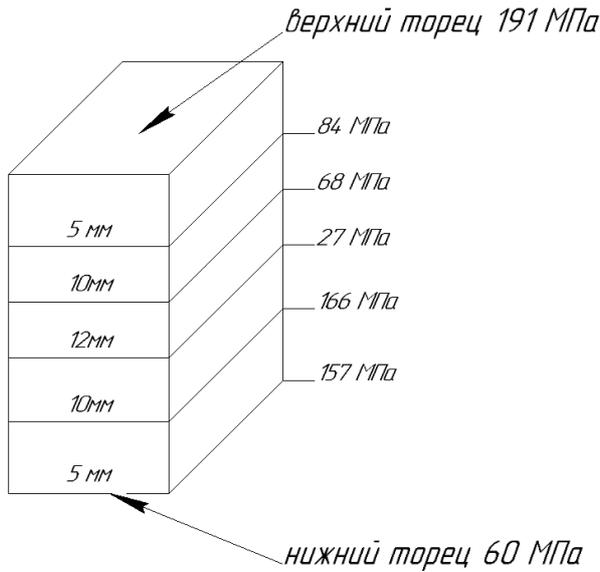


Рис. 3. Схема и результаты измерений микротвердости

Тем не менее, после обработки следующего образца с большим интервалом уровня измерений снижение  $H_c$  не обнаружено. Отмечается разброс результатов измерений на различных уровнях высоты образца, что объясняется сложным характером виброволнового воздействия и колебаниями участков взаимодействия прямых и отраженных волн, многократно повторяющихся в процессе обработки.

Для обеспечения управления процессом, повторяемости получения требуемых результатов, несомненно, потребуются дальнейшее пополнение результатов и установление соответствующих закономерностей.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бабичев, А.П., Тамаркин, М.А., Лебедев, В.А., Анкудимов, Ю.П., Рысева, Т.Н., Чукарина, И.М., Тихонов, А.А. Физико-технологические основы методов обработки: учеб. пособ. / под ред. А.П. Бабичева. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2003. – 430 с.

2. Бабичев, А.П., Коваль, Н.С., Романовский, И.Н. Виброволновая упрочняющая обработка режущих ножей сельскохозяйственных машин // Теоретический и научно-практический журнал Вестник ДГТУ: сб. статей. – Ростов н/Дону, 1999. – 185 с.

3. Бабичев А.П., Мотренко П.Д., Лисицкий Л.О., Ширин А.А., Ерина Т.С., Семиниченко К.В. Экспериментальное исследование виброволновой обработки пакета образцов из разнородных материалов, при различной ориентации (расположении) в пакете // Научноёмкие технологии в машиностроении. – 2017. – №11(77). – С. 30–32.

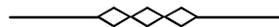
## REFERENCES

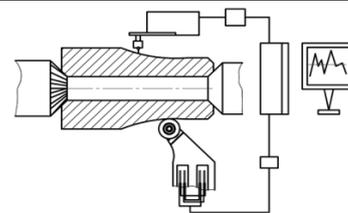
1. Babichev, A.P., Tamarkin, M.A., Lebedev, V.A., Ankudimov, Yu.P., Ryseva, T.N., Chukarina, I.M., Tikhonov, A.A. *Physico-technological Fundamentals of Processing Methods: manual* / under the editorship of A.P. Babichev. – Rostov-upon-Don: DSTU Publishing Center, 2003. – pp. 430.

2. Babichev, A.P., Koval, N.S., Romanovsky, I.N. Vibrowave strengthening processing of agricultural machinery cutters // *Bulletin of DSTU - Theoretical and Scientific-practical Journal: Proceedings*. – Rostov-upon-Don, 1999. – pp. 185.

3. Babichev, A.P., Motrenko, P.D., Lisitsky, L.O., Shirin, A.A., Yerina, T.S., Seminichenko, K.V. Experimental research of heterogeneous samples vibro-wave processing at their different location in package // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2017. – No.11 (77). – pp. 30-32.

Рецензент д.т.н. М.А. Тамаркин





УДК 004.93

DOI: 10.12737/article\_5a70c1052436b3.52121028

**К.О. Блохин**, инженер,  
**В.П. Матлахов**, к.т.н.,  
**В.А. Хандожко**, к.т.н.

(ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»  
241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7)

## **Научно-интенсивная технология контроля качества керамической плитки с использованием технического зрения**

*Рассмотрена разработка системы технического зрения для бесконтактного контроля качества и геометрических параметров точности изделий на автоматизированном производстве.*

**Ключевые слова:** техническое зрение; технологические параметры; качество поверхностного слоя.

**K.O. Blokhin**, Engineer,  
**V.P. Matlakhov**, Can. Eng.,  
**V.A. Khandozhko**, Can. Eng.

(FSBEI HE "Bryansk State Technical University"  
7, 50 years of October Boulevard, Bryansk, 241035)

## **Science intensive technology for ceramic tile quality control using computer vision**

*This paper is a result generalization of theoretical investigations and a practical realization of the system of computer vision to control ceramic tile technological parameters. A basic problem is a choice of hardware and software for the definition and analysis of moving objects according to a sequence of images obtained during small time intervals. To identify similar objects against a background complex enough, but motionless it is necessary to define areas in which a motion is supposed. As a result of investigations of the areas found they may be changes up to dimensions of objects (that is, find objects themselves) and define parameters of their motion. At the same time, the number and dimensions of objects in the image can change within wide limits. The analysis carried out has shown that the application of OpenCV library allows simplifying the realization of such a system, and a developed programming module may be used in other fields of automated production.*

**Keywords:** computer vision; technological parameters; surface layer quality.

### **Введение**

В современном автоматизированном производстве в связи с ростом производительности и мощности цифровых технологий наблюдается очевидная тенденция к автоматизации всех инженерных задач и процессов. В настоящее время одной из важнейших задач любого производства является контроль качества выпускаемой продукции.

В последнее время интенсивно развиваются системы технического зрения. Данные системы являются разновидностью приборов контроля параметров изделий, включающих источник измерительной информации (видеокамера), вычислительное устройство и программное обеспечение.

Основная задача, решаемая такими аппаратно-программными модулями – контроль и измерение геометрических параметров раз-

личных объектов. На текущий момент достаточно много различных подходов к реализации систем компьютерного зрения, начиная от различных вариаций на тему сравнения полученного изображения с шаблонным, до построения по изображениям сложных трехмерных моделей.

Техническое зрение используют во многих отраслях промышленности для контроля за качеством выпускаемой продукции. Скоростные видеокамеры и датчики улавливают невидимые человеческому глазу дефекты, способны заметить геометрические отклонения в несколько микрон [1, 2].

Задачей данной работы является создание устройства для своевременного обнаружения дефектов в изготавливаемой продукции и предотвращение выпуска продукции, не соответствующей действующим стандартам, техническим условиям, чертежам, утвержденным образцам (эталонам) при контроле качества готовой продукции (керамической плитки) на предприятии АО «Кировская керамика».

Для этого было разработано устройство контроля технологических параметров керамической плитки, которое должно определить изделия не пригодные для выпуска на продажу, тем самым повысить качество выпускаемой продукции и производительность автоматизированной линии за счет исключения человеческого фактора из принятия решения.

### Основная часть

Для контроля параметров качества керамической плитки существуют нормативные документы, устанавливающие технические требования, которым должны удовлетворять готовые изделия. Дефекты внешнего вида определяются в соответствии с ТУ 5752-041-00288030-2011[3].

Разбег в размерах готовых изделий появляется, так как при выходе из печи фактический размер плитки отличается от номинального, обозначенного в каталоге. Определить его можно, только измерив плитку после её выхода из печи на окончательном этапе производства. Причина возникновения такой разницы в размерах заключается в том, что предвидеть и прогнозировать сужение плитки во время нахождения в печи с большой точностью нереально, так как все компоненты, из которых состоит основа плитки хотя и отбираются очень тщательно, но могут по-разному вести себя в течение сложного процесса изготовления.

В качестве основного объекта для исследования системы контроля технологических параметров была выбрана напольная квадратная плитка форматом 450x450 мм. Номинальный размер плитки устанавливает предприятие-изготовитель, таким образом, чтобы ширина шва составляла от 2 до 5 мм (рис. 1).



Рис. 1. Соответствие координатного размера суммарной величине номинального размера плитки и ширины шва:

К – координатный размер; Н – номинальный размер; С – ширина шва

Предельные отклонения размеров плиток от номинальных не должны быть более  $\pm 1,5$  мм по длине и ширине. Данные отклонения регулируются по ГОСТ 6787-2001 [4].

Цвет (оттенок цвета), рисунок или рельеф лицевой поверхности плиток должны соответствовать образцам-эталонам, утвержденным предприятием-изготовителем.

Внешний вид плиток обычно проверяют визуально при дневном или рассеянном искусственном свете при освещенности от 300 до 400 лк с расстояния 1,0 м от глаз наблюдателя, при контроле фиксируют отличие цвета (оттенка цвета), рисунка и рельефа лицевой поверхности плиток от образцов-эталонов, а также наличие видимых трещин и сколов [5].

Одной из главных проблем является осуществление контроля параметров качества готовых изделий, который на данной автоматизированной линии осуществлялся лишь визуально и не мог гарантировать получения требуемого качества. При визуальной проверке существует человеческий фактор, и весь контроль является субъективным.

При выборе камеры для промышленного автоматизированного производства существует множество критериев: расстояние до объекта; величина объекта; скорость движения; среда эксплуатации камеры; освещение; параметры для анализа и их количество; синхронизация и интеграция в общую систему и другие параметры.

В статье остановимся только на главных параметрах, хотя при разработке данной системы было учтено гораздо больше параметров. Промышленные камеры подразделяются

на матричные и линейные. Различие между ними заключается в принципе захвата изображения. Изображение состоит из определенного количества строк. Матричная камера оснащена прямоугольным сенсором, содержащим множество строк пикселей, которые подвергаются экспозиции одновременно. Таким образом, запись данных изображения осуществляется в один прием, как и их обработка.

Линейные камеры оснащены единственным сенсором, содержащим всего одну, две или три строки пикселей. Захват данных изображения осуществляется строка за строкой, после чего на этапе обработки из отдельных строк восстанавливается полное изображение. Вопрос о выборе матричной или линейной камеры связан с областью применения камеры и предъявляемыми к ней требованиями [9].

Для данной системы выбрана камера с типом матрицы КМОП-матрица (КМОП – комплементарный металл – оксидный полупроводник, *англ.* – CMOS). В КМОП-матрице, обрабатывающее устройство находится рядом с каждым пикселем (порой монтируется на саму матрицу), благодаря чему увеличивается быстродействие системы. Также, в связи с отсутствием дополнительных устройств обработки, отметим низкий уровень энергопотребления КМОП-матриц.

Если цвет не является обязательным условием, то рекомендуется остановить свой выбор на монохромной камере. Ввиду отсутствия необходимости в светофильтрах эти камеры отличаются более высокой чувствительностью по сравнению с цветными и позволяют получать изображения с более высокой степенью детализации.

Для разработанной системы технического зрения была выбрана матричная цветная камера IDS UI-3130CP, так как необходимо большое число пикселей для точной обработки параметров изображения, а также важную роль играет тот фактор, что необходимо будет работать с цветными рисунками на поверхности изделий. Камера IDS UI-3130CP с интерфейсом USB 3.0 оснащена КМОП-сенсором PYTHON 500 размером 1/3.6" от ON Semiconductor. Сенсор поддерживает режим общего экспонирования и позволяет осуществлять высокоскоростную съёмку (при уменьшении размеров изображения и применении АОI доступны частоты свыше 1000 кадров в секунду). Таким образом, камера с сенсором КМОП (0.5 МПикс: 800×600, скорость съёмки при этом достигает 575 к/с) применима в

обычных приложениях машинного зрения для визуализации и анализа быстротекущих процессов.

Одним из важных достоинств этой камеры является использование DIS технологии. Эта технология обеспечивает программную обработку изображения, компенсирующую дрожание камеры. Стабилизация изображения выполняется программным способом, в процессоре камеры. Интеллектуальный алгоритм обеспечивает сравнение последовательных кадров. При этом определяется, в каком направлении и на какую величину вся сцена сместилась относительно границ кадра. После этого производится программный перенос «уехавшего» кадра в обратном направлении. Смещение кадра оказывается скомпенсированным, и на мониторе отображается фотография, на которой сцена не дрожит.

Применение данной камеры с данной DIS технологией позволяет добиться минимальной погрешности, связанной с механическими колебаниями, возникающими в процессе работы конвейера автоматизированной линии (рис. 2).



Рис. 2. USB-Камера UI-3130CP

Одним из важных аспектов работы системы контроля технологических параметров, является ее расположение в цепочке технологических процессов производства керамической плитки. Система контроля должна быть расположена на завершающем этапе технологического процесса производства керамической плитки, после того как уже произведены такие технологические операции как: сушка, нанесение глазури и рисунка, обжиг. Исходя из этого, целесообразно установить систему перед участком упаковки и отбраковки несоответствующих изделий, для контроля технологических параметров уже готовой к выпуску керамической плитки.

После того как были произведены расчеты минимальной допустимой высоты закрепления камеры над конвейером автоматизированной линии по производству керамической

плитки и было выбрано место для установки системы, необходимо выбрать оптимальную позицию для закрепления USB-камеры и необходимые приспособления для крепления устройства.

Камера должна быть жестко закреплена над конвейером, воздействие механических колебаний, связанные с работой автоматизированной линии и обслуживающих механизмов должно быть сведено к минимуму. В процессе эксплуатации не допускается смещение USB-камеры от первоначальной позиции закрепления, так как при изменении позиционирования устройства появляется погрешность в измерениях технологических параметров керамической плитки, и камера должна быть откалибрована заново.

Место закрепления камеры выбиралось из условий:

- технологического процесса;
- удобства размещения осветительных приборов;
- возможности неподвижного, жесткого закрепления USB-камеры;
- удобства монтажа приспособлений для крепления камеры.

Исходя из вышеперечисленных условий, был выбран вариант крепления удерживающего USB-камеру кронштейна к опорной стойке, расположенной рядом с конвейером и служащей для размещения над конвейером автоматизированной линии осветительных приборов, кабель-каналов, а также других обслуживающих устройств.

Было установлено, что для работы с системой технического зрения лучшим вариантом при выборе типа ламп является светодиодная лампа. Для того чтобы избавиться от бликов и теней на исследуемой поверхности плитки, целесообразно использовать объемное двухстороннее освещение. В центре экспозиции находится, закрепленная над конвейером камера, над которой закреплены линейные светодиодные лампы, на расстоянии 800 мм друг от друга и 400 мм от камеры. Далее необходимо рассчитать освещенность области видимости камеры и подобрать соответствующие светильники.

Реализация программного модуля начинается с захвата отдельных изображений видеопотока, далее полученное изображение должно пройти предварительную обработку, такую, как устранение шума, выравнивание яркости, контраста, выделение и удаление бликов, теней, выравнивание цветов [6, 7]. Предобработка может быть простой, но может

включать в себя целую сложную технологию. Сформированное видео- или фотокамерой цифровое изображение вводится в компьютер и проходит цифровую обработку для определения геометрических параметров объекта. Одной из важных задач является автоматическое выделение движущихся объектов, что является необходимым предварительным шагом при решении поставленных задач. Существует два основных класса методов выделения движущихся объектов:

- 1) путем анализа их границ (контуров);
- 2) путем анализа всей области объекта на кадрах.

Основной идеей методов первого класса является поиск отличий векторов оптического потока с последующим построением контуров движущихся объектов. Методы второго класса, наоборот, основываются на группировании сходных векторов из оптического потока в области, которые подаются на выход алгоритма в качестве движущихся объектов. Большинство классических методов анализируют не сами кадры видеопоследовательности, а оптический поток (поле видимых смещений пикселей изображений), построенный по этим кадрам.

Следующий этап – выделение особенностей исследуемого объекта в зависимости от поставленных задач. Например, в разработанной программе будет реализовано несколько функций контроля поверхностей, таких как:

- поиск специальных точек на объекте для сравнения изображения объекта, полученного с камеры с эталонным изображением;
- выявление дефектов поверхностей;
- контроль геометрических параметров.

Для решения поставленных задач используется персональный компьютер на базе Windows OS. Разработка управляющей программы осуществлена в среде программирования Visual Studio, на языке программирования C++. Для реализации всех графических функций используется библиотека OpenCV, содержащая реализации для некоторых шагов исследуемых методов, таких как построение оптического потока, вычисление градиента и поиск контуров, а также простой и удобный интерфейс для работы с камерами и вывод результата на экран [8].

OpenCV – это библиотека алгоритмов компьютерного зрения, обработки изображений и численных алгоритмов общего назначения с открытым кодом. Библиотека написана на C и C++ и работает на компьютерах под управлением Linux, Windows, Mac OS X. Библиотека

OpenCV была разработана с целью повышения вычислительной эффективности и с уклоном на приложения реального времени. OpenCV написана с использованием оптимизированного C и может использовать многоядерные процессоры. Одной из основных целей OpenCV является предоставление простого в использовании интерфейса, который позволит людям достаточно быстро строить сложные приложения, использующие компьютерное зрение. Также активно развиваются интерфейсы библиотеки для Python, Ruby, Matlab и других языков программирования [9].

OpenCV структурирована по пяти основным компонентам, четыре из которых показаны далее. Компонент CV содержит основные алгоритмы обработки изображений и высокоуровневые алгоритмы компьютерного зрения; ML – библиотеку машинного обучения, которая включает в себя средства статистической классификации и кластеризации. Модуль HighGUI (High-level Graphical User Interface) предоставляет функции, которые позволяют взаимодействовать с операционной системой, файловой системой и аппаратными средствами ЭВМ такими, как камеры. HighGUI позволяет открывать окна, показывать изображения, читать и записывать графические файлы и видео, просто обращаться с мышью и клавиатурой [9] (рис. 3).

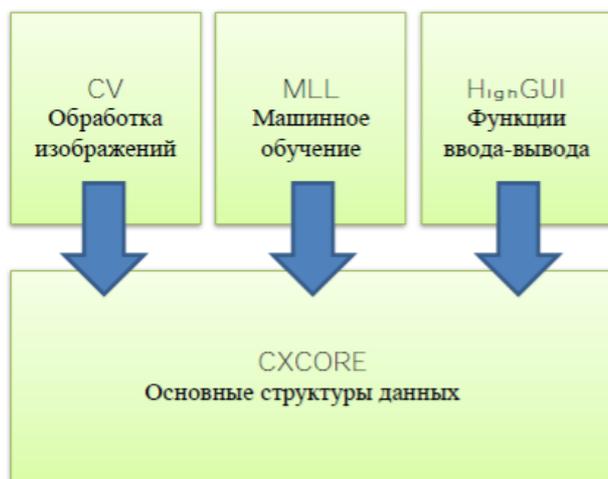


Рис. 3. Основные функции OpenCV

Функции OpenCV, которые позволяют взаимодействовать с операционной системой, файловой системой и аппаратными средствами, такими, как камера, собраны в библиотеке HighGUI (что означает «высокоуровневый графический пользовательский интерфейс»). HighGUI позволяет открывать окна для ото-

бражения изображений, читать и записывать графические файлы (изображения и видео), обрабатывать простые события мыши, указателя и клавиатуры. Данная библиотека также позволяет создавать такие полезные элементы, как ползунок. HighGUI имеет достаточный функционал для разработки различного рода приложений. При этом наибольшая польза от использования данной библиотеки в её кросс-платформенности. Библиотека HighGUI состоит из трех частей:

- аппаратной;
- файловой;
- GUI [9].

Аппаратная часть, в первую очередь, касается работы с камерой. В большинстве ОС обработка камеры довольно-таки утомительна. HighGUI предоставляет простые механизмы подключения и последующего получения изображения с камеры.

Все, что касается файловой системы, в первую очередь, связано с загрузкой и сохранением изображения. Важной особенностью библиотеки является наличие методов, которые одинаково обрабатывают видеопоток из файла и с камеры. Та же идея заложена и в методы обработки изображений. Функции просто полагаются на расширения файлов и автоматически обрабатывают все операции по кодированию и декодированию изображений. Третья часть HighGUI – GUI. Библиотека предоставляет несколько простых функций, которые позволяют открывать окно и отображать в нем изображения. Тут же существует возможность обрабатывать события, поступившие от мыши и клавиатуры [9].

OpenCV предоставляет быстрый и простой в использовании интерфейс для выполнения морфологических преобразований над изображениями. Основные морфологические преобразования: расширение и размытие, могут быть применены в таких ситуациях, как удаление шума, выделение отдельных элементов и соединение разнородных элементов на изображении. Морфологические преобразования также могут быть использованы для поиска неровностей интенсивности или отверстий и градиента изображения.

С момента своего альфа-релиза в январе 1999 г. библиотека OpenCV использовалась во многих приложениях, продуктах и исследованиях. Такие приложения как «сшивка» изображений в спутниковых системах и веб-картах, выравнивание изображений, снижение шума в медицинских изображениях, анализ объектов, системы обнаружения вторжений,

автоматический контроль, системы безопасности, производство систем контроля, калибровка камер, широкое военное применение, беспилотные летательные, наземные и подводные аппараты.

Возможности OpenCV:

- человеко-машинное взаимодействие;
- идентификация объектов;
- сегментация и распознавание;
- распознавание лиц;
- распознавание жестов;
- трекинг движения;
- структура движения;
- калибровка стереокамер;
- 3D трекинг.

На сегодняшний день существуют различные методы обнаружения объектов на цифровом изображении: каскадный классификатор Виолы и Джонса, обобщенное преобразование Хафа, метод Капура–Винна и другие. Однако методы обнаружения объекта, имеющие высокие показатели надежности и устойчивости, требуют значительных временных и машинных ресурсов для обучения на новых объектах [9].

Методы обнаружения объекта на цифровом изображении, по способу отнесения участка изображения к области интересов, можно разделить на две большие группы: обобщающие и различающие.

Обобщающие методы составляют абстрактное представление о структуре объекта на основе позитивных обучающих изображений. При анализе нового изображения обобщающие методы оценивают, насколько точно это изображение соответствует построенной модели. Кроме анализа имеющихся изображений обобщающие методы могут использовать полученную модель для построения новых изображений объекта. При обучении обобщающих методов негативные обучающие изображения не требуются.

В данной работе был использован один из наиболее популярных обобщающих методов – преобразование Хафа. Он заключается в том, что в процессе обучения на изображении объекта выделяют характерные точки. Для каждой точки определяют радиус-вектор, который соединяет ее с геометрическим центром объекта. При обнаружении характерной точки на исследуемом изображении соответствующий радиус-вектор указывает ожидаемую позицию центра объекта. Пикселю, расположенному в этой позиции, добавляют один голос. Пиксель, набравший наибольшее количество голосов после сканирования всего изображения, будет

соответствовать наиболее вероятному положению центра объекта. Таким образом, можно обнаружить соответствия между обучающим или эталонным изображением и полученным из видеопоследовательности изображением объекта. На исследуемом изображении выделяют характерные участки и ставят их в соответствие элементам объекта или фона. Затем с помощью перебора отыскивают наиболее правдоподобное соответствие [2].

Существуют также различающие методы, они сложнее и специфичнее, поэтому используются гораздо реже. Различающие методы используют специальную функцию-классификатор для обнаружения объекта на цифровом изображении. В процессе обучения они выделяют различия между позитивными и негативными обучающими изображениями. На основе этих различий они подбирают параметры функции-классификатора. Полученная функция применяется для разделения новых входных изображений на изображения, содержащие и не содержащие область интересов. Наиболее популярные различающие методы Виолы–Джонса, Лекуна и Папагеоргиу [2].

Таким образом, различающие методы сосредоточены на различиях между позитивными и негативными изображениями конкретной обучающей выборки, в то время как обобщающие методы пытаются воссоздать структуру самого объекта по его изображениям. Поэтому при обучении обобщающих методов негативные изображения не требуются, а необходимое количество позитивных изображений существенно меньше, чем при обучении различающих методов. Можно сделать вывод, что для быстрого и упрощенного выделения объекта из видеопотока следует использовать подход обобщающих методов.

Работа разработанной программы для контроля технологических параметров керамической плитки начинается с того, что в программу загружается эталонное изображение изделия, которое в данный момент запущено на автоматизированной линии производства. Затем с камеры программа получает видеопоток, откуда захватывает изображения керамической плитки и проводит необходимую обработку, такую как: устранение шумов, бликов, теней, бинаризацию.

На этапе контроля технологических параметров программа контролирует две группы параметров. Вначале контролируются геометрические параметры изделия с учетом необходимых допусков или калибров керамической

плитки. В случае несоответствия изделия данной группе параметров, программа выдает сигнал о несоответствии без проверки следующих критериев качества. В случае соответствия по геометрическим параметрам, изделие проверяется по следующей группе параметров качества поверхностного слоя. Где проверяется качество нанесения глазури, точность нанесения рисунка и отсутствие сколов,

пятен и трещин на поверхности. В случае несоответствия данной группе параметров также выдается сигнал о несоответствии керамической плитки. В противном случае алгоритм возвращается к началу захвата изображения, и цикл повторяется снова и снова, пока на автоматической линии будут находиться изделия.

Визуальный интерфейс программы для работы операторов представлен на рис.4.



Рис. 4. Интерфейс программы

Одним из главных достоинств программного модуля является то, что он может работать на любой из общедоступных ОС. Использование библиотеки OpenCV позволяет упростить реализацию методов путем написания кода сравнительно небольшого объема. Для всех сложных шагов использовались стандартные функции из библиотеки, что позволяет избежать возможных ошибок при самостоятельной реализации. Для связи сложных шагов производятся только простые операции (например, передача изображений), поэтому их реализация практически очевидна, и в ней сложно допустить ошибку. Анализируемые методы легко реализовать, а значит, они обладают высокой надежностью.

В системе контроля технологических параметров керамической плитки предусмотрен вывод статистики об общем количестве проверенных изделий и количестве несоответствующих технологическим параметрам изделий. Система контролирует две группы параметров: геометрические параметры и пара-

метры точности рисунка. В зависимости от соотношения процента брака по каждой из групп параметров от общего количества несоответствующих изделий, можно сделать выводы о нарушениях в ходе технологического процесса по производству керамической плитки.

В ходе исследований были получены следующие данные о количестве изделий и о соотношении бракованных изделий по каждому из контролируемых параметров от общего количества.

Для создания статистики были взяты данные с устройства за смену (8 часов), в итоге, общее количество изделий, прошедшее через систему контроля технологических параметров за одну смену составило 1264 плитки, количество изделий, которые система контроля технологических параметров признала несоответствующими, составляет 104 изделия или 8 % от общего количества за смену.

Ориентируясь на данные диаграмм о количестве брака за смену и соотношении дефек-

тов разных групп параметров, инженерно-технологический состав предприятия может понять на какой стадии технологического процесса возникают проблемы, и предпринять действия для их устранения и снижения процента брака при производстве керамической плитки.

### Заключение

Отечественная практика применения систем технического зрения, а также ряд зарубежных работ, свидетельствуют о целесообразности внедрения таких систем для решения народнохозяйственных задач, в которых существенное значение имеет доступность аппаратных компонентов автоматизированных систем обработки зрительной информации, а также возможность применения готового прикладного программного обеспечения для представления и обработки результатов.

Работа является актуальной в настоящее время, так как ее применение исключает оператора из процесса принятия решения о значении измеряемой физической величины, что объективно улучшает показатели точности, достоверности и производительности геометрических измерений.

Важными преимуществами систем технического зрения являются также бесконтактность и дистанционность измерений.

Внедрение системы контроля технологических параметров керамической плитки поможет контролировать процент брака на предприятии и поможет инженерно-технологическому составу контролировать и своевременно вносить коррективы в технологический процесс производства керамической плитки, что также поможет увеличить производительность и качество выпускаемой продукции, снизить технологические потери. Разработанный программный модуль может применяться и в других сферах автоматизированного производства.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Форсайт, Д.** Компьютерное зрение. Современный подход / Д. Форсайт, Ж. Понс. – М.: Изд. Дом «Вильямс», 2004. – 928 с.
2. **Потапов, А.С.** Распознавание образов и машинное восприятие. – М.: Политехника, 2007 г. – 552 с.
3. **ТУ 5752-041-00288030-2011** «Плитки керамические глазурованные для полов. Технические условия».

4. **ГОСТ 6787 – 2001** «Плитки керамические для полов».

5. **ГОСТ 55645 – 2013** «Производство керамической плитки».

6. **Матлахов, В.П., Игнатов, А.Н., Суслов, А.Г.** Разработка программного модуля для определения процентного состава компонентов износостойких покрытий // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2016. – № 2 (50). – С. 46–51.

7. **Матлахов, В.П., Игнатов, А.Н.** Разработка программного модуля определения процентного состава компонентов TiN по фотографии // Проблемы обеспечения и повышения качества и конкурентоспособности изделий машиностроения и авиадвигателестроения (ТМ-2015): материалы 7-й междунар. науч.-техн. конф., г. Брянск, 21-23 сентября 2015 г. – Брянск: БГТУ, 2015. – 223 с.

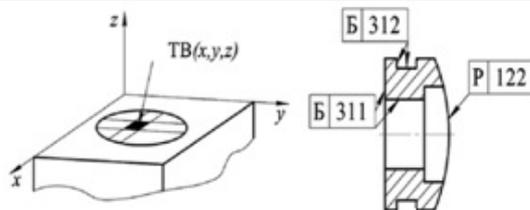
8. **Adrian Kaehler, Gary Bradski** Learning OpenCV 3 Computer Vision in C++ with the OpenCV Library.– O'Reilly Media, 2015. – 575p.

9. **OpenCV Library** [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://opencv.org>. (дата обращения: 1.12.2017г.).

### REFERENCES

1. Forsythe, D. *Computer Vision. Current Approach* / D. Forsythe, J. Ponce. – M.: "Williams" Publishers, 2004. – pp. 928.
2. Potapov, A.S. *Image Identification and Machine Perception*. – M.: Polytechnic, 2007. – pp. 552.
3. S 5752-041-00288030-2011 "Ceramic Glazed Tiles for Floor. Specifications".
4. RSS 6787 – 2001 "Ceramics for Floor".
5. RSS 55645 - 2013 "Ceramics Manufacturing".
6. Matlakhov, V.P., Ignatov, A.N., Suslov, A.G. Programming module development for percentage composition definition of wear-resistant coating components // *Bulletin of Bryansk State Technical University*. – 2016. – No.2 (50). – pp. 46-51.
7. Matlakhov, V.P., Ignatov, A.N. Development of programming module for definition of TiN component percentage by photo // *Problems of Assurance and Increase of Product Quality and Competitiveness of Mechanical Engineering and Aircraft Engine Manufacturing (TM-2015): Transactions of the VII-th Inter. Scientif.-Tech. Conf.*, Bryansk, September 21-23, 2015. – Bryansk: BSTU, 2015. – pp. 223.
8. Adrian Kaehler, Gary Bradski Learning OpenCV 3 Computer Vision in C++ with the OpenCV Library.– O'Reilly Media, 2015. – 575p.
9. *OpenCV Library* [Electronic Resource]. Access mode <http://opencv.org>. (address date: 01.12.2017)

Рецензент д.т.н. Д.И. Петрушин



УДК 621.9.047

DOI: 10.12737/article\_5a70c1056a7c84.65409961

**С.Ю. Съянов, к.т.н.,**

**А.М. Папикян, аспирант**

(ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»

241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7)

E-mail: serg620@ya.ru; Papikan-alina@mail.ru

## **Функционально-ориентированные технологии при электроэрозионной обработке**

*Описаны основные этапы разработки функционально-ориентированных технологических процессов электроэрозионной обработки. Приведены теоретические зависимости усталостной прочности и износостойкости поверхностей от условий электроэрозионной обработки, дающие возможность обеспечить эксплуатационные показатели сложнопрофильных деталей.*

**Ключевые слова:** функционально-ориентированный технологический процесс; электроэрозионная обработка; эксплуатационные показатели; качество поверхностного слоя.

**S.Yu. Siyanov, Can. Eng.,**

**A.M. Papikyan, Post graduate student**

(FSBEI HE "Bryansk State Technical University" 7, 50 Years of October Boulevard, Bryansk, 241035)

## **Functionally-directed technologies at electro-erosion processing**

*An electro-erosion processing (EEP) is one of the efficient and economically advantageous methods of material machining in mechanical engineering. The EEP has a number of considerable advantages widening a field of practical use of this machining method at manufacturing different products of mechanical engineering. Currently used technologies of product electro-erosion processing ensure essential operational characteristics for limited working conditions only. The solution of this matter is possible on the basis for product manufacturing by electro-erosion methods of functionally-directed technology application. With the aid of this methodology still at the stage of engineering procedure design it is possible to ensure the specified operational characteristics depending on electro-erosion processing modes.*

**Keywords:** functionally-directed engineering procedure; electro-erosion processing; operational characteristics; surface layer quality.

Электроэрозионная обработка (ЭЭО) – один из прогрессивных и экономически выгодных методов обработки материалов в машиностроении. ЭЭО позволяет проводить обработку как электропроводящих, так и неэлектропроводящих материалов независимо от их физико-механических свойств, формы и расположения поверхностей обрабатываемых деталей, что выгодно отличает ее от механической обработки резанием, в особенности при обработке труднообрабатываемых материалов.

Несмотря на положительные технические, технологические и экономические показатели, ЭЭО имеет свои области применения и недос-

татки из-за своей физической природы. Основной недостаток ЭЭО – высокая энергоемкость, по сравнению с обработкой резанием, при изготовлении деталей простой формы из конструкционных материалов при одинаковых условиях обработки (производительности и качестве поверхностного слоя).

ЭЭО экономически выгодно применять при обработке изделий сложной пространственной формы из труднообрабатываемых материалов, а также в тех случаях, когда поверхности достаточно сложно изготовить другими методами обработки.

Таким образом, ЭЭО имеет ряд существенных преимуществ, которые расширяют об-

ласть практического применения данного метода обработки при производстве различных изделий машиностроения.

Процессы, протекающие при ЭЭО, подробно изучены, выявлено влияние технологических режимов обработки на качество поверхностного слоя, точность, износ электрода-инструмента и производительность процесса [1 – 5].

Однако разрушения механизмов и машин (износные, усталостные, коррозионные и др.) начинаются с рабочих поверхностей деталей, поэтому разработка мероприятий по повышению их надежности на основе обеспечения заданных, требуемых или предельных эксплуатационных свойств является актуальной проблемой. Данная проблема обычно решается на этапе конструкторской и технологической подготовки производства изделий.

Особенно важным этапом подготовки производства изделий является разработка и ре-

ализация технологического процесса их изготовления. Именно на этом этапе формируются свойства изделий, необходимые для выполнения требуемых эксплуатационных функций.

Также можно отметить, что применяемые в настоящее время технологии электроэрозионной обработки изделий обеспечивают необходимые эксплуатационные показатели только для ограниченных условий работы. Решение данного вопроса возможно за счет применения функционально-ориентированных технологий [6, 7].

Задача, которая решается при разработке функционально-ориентированного технологического процесса ЭЭО, – определение оптимальных условий ведения ЭЭО, обеспечивающих требуемые значения эксплуатационных свойств рабочих поверхностей, следовательно, повышение надежности изделия в целом (рис. 1).

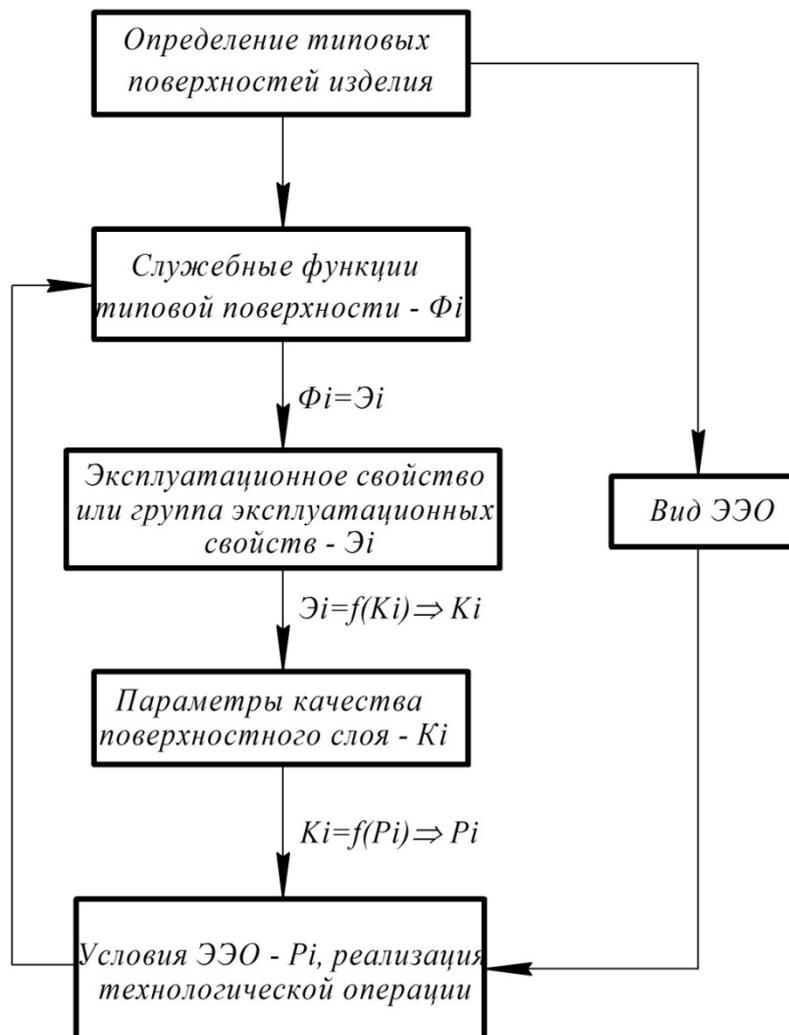


Рис. 1. Этапы разработки функционально-ориентированного технологического процесса электроэрозионной обработки

Основные этапы разработки функционально-ориентированных технологических процессов ЭЭО следующие:

- 1) анализ основных элементов конструкции и выделение типовых поверхностей изделия;
- 2) определение служебных функций типовых поверхностей изделия;
- 3) определение эксплуатационного свойства или группы эксплуатационных свойств, обеспечивающих выполнение поверхностью изделия служебной функции;
- 4) определение параметров качества поверхностного слоя, обеспечивающих эксплуатационное свойство или группу эксплуатационных свойств;
- 5) рассмотрение схемы технологического воздействия, вариантов и условий реализации технологических операций ЭЭО для обеспечения необходимых параметров качества поверхностного слоя.

Исходными данными для проектирования технологического процесса ЭЭО являются материал детали, геометрические характеристики обрабатываемой поверхности, припуск на обработку, геометрические и физико-механические параметры качества поверхностного слоя детали, точность обработки, допустимый износ электрода-инструмента и требуемая производительность процесса.

Классификацию типовых поверхностей деталей осуществляют с учетом общих требований к разработке технологического процесса. Технологический процесс обработки заготовки определяется формой (конфигурацией), точностью обработки и качеством обработанной поверхности, материалом детали, размерами, годовой программой выпуска и общей производственной обстановкой. Соответственно технологический процесс обработки типовых поверхностей детали также должен учитывать перечисленные выше условия (требования, данные и т.п.). Однако применительно к типовой поверхности перечень определяющих факторов может быть сужен. Наиболее существенные показатели для типовой поверхности с точки зрения выбора маршрута обработки – форма (вид) поверхности, точность и качество поверхности, вид материала заготовки.

Разбив изделие на типовые поверхности, необходимо определить их служебные функции. Любое изделие предназначено выполнять соответствующее служебное назначение посредством своих поверхностей. Следовательно, каждая поверхность изделия предназначена выполнять определенную служебную функцию.

После определения служебных функций  $\Phi_i$  поверхностей изделий необходимо определить эксплуатационные свойства  $\Xi_i$  (износостойкость, усталостная прочность, контактная жесткость, коррозионная стойкость и др.), которые будут обеспечивать выполнение требуемой эксплуатационной функции.

Зная эксплуатационные свойства  $\Xi_i$  и функциональные взаимосвязи данных эксплуатационных свойств с технологическими параметрами, а именно с качеством поверхностного слоя  $\Xi_i = f(K_i)$  [8], можно определить оптимальные параметры качества поверхностного слоя  $K_i$ , необходимые для обеспечения требуемой эксплуатационной функции поверхности  $\Phi_i$ .

Используя полученные параметры качества поверхностного слоя  $K_i$ , физику процесса ЭЭО и функциональную взаимосвязь параметров качества поверхностного слоя с условиями ведения ЭЭО ( $K_i = f(P_i)$ ) [1 – 5], определяют необходимые технологические воздействия  $P_i$  (материал электрода-инструмента, свойства диэлектрической жидкости, технологический ток, технологическое напряжение, длительность и скважность импульса и др.) для обеспечения требуемой эксплуатационной функции поверхности изделия  $\Phi_i$ . Это позволяет еще на стадии проектирования технологического процесса электроэрозионной обработки установить взаимосвязь режимов обработки с требуемыми эксплуатационными показателями.

Так, для обеспечения усталостной прочности (1) и износостойкости (2) получены теоретические зависимости, связывающие условия ЭЭО (материал электрода-инструмента, свойства диэлектрической жидкости, технологический ток, технологическое напряжение, длительность и скважность импульса и др.) с указанными эксплуатационными параметрами [9]:

$$\alpha_\sigma = 1 + \frac{1,86\gamma^{0,5}}{\sqrt[6]{(2 \cdot \beta - 1) \cdot I \cdot U \cdot \eta \cdot \tau}} \cdot \sqrt[6]{(4 \cdot \beta + 1) \cdot c \cdot \rho \cdot T_{пл}}, \quad (1)$$

$$C = \frac{\left[ \sqrt[3]{\frac{I\tau\eta}{c \cdot \rho \cdot T_{пл}}} \cdot \left( \sqrt[3]{U_{max}} - \sqrt[3]{U_{min}} \right) \cdot H_{max} \right]^{1/6}}{0,0005 \cdot \left( \frac{(2\beta - 1) \cdot I \cdot U \cdot \eta \cdot \tau}{(4\beta + 1) \cdot c \cdot \rho \cdot T_{пл}} \right)^{1/6} \cdot \left( \frac{\left( 10^{-3} \cdot \frac{A_u^{0,234} \cdot \Pi_{и}^{0,409}}{\Pi_{д}^{0,236}} \right) - H_u}{10^{-3} \cdot \frac{A_u^{0,234} \cdot \Pi_{и}^{0,409}}{\Pi_{д}^{0,236}}} \right)^{2/3} \cdot \left( \frac{\delta_B - \delta''_{ост}}{\delta_a} \right)^t}, \quad (2)$$

где  $\beta$  – коэффициент перекрытия лунок;  $I$  – сила тока;  $U$  – напряжение, подаваемое на электроды;  $\eta$  – коэффициент полезного использования энергии импульса;  $\tau$  – длительность импульсов;  $c$  – удельная теплоемкость материала;  $\rho$  – плотность материала;  $T_{пл}$  – температура плавления материала;  $H_{max}$  – макроотклонения поверхности;  $U_{max}$  – максимальное напряжение при обработке;  $U_{min}$  – минимальное напряжение при обработке;  $H_u$  – микротвердость исходного материала;  $A_u$  – энергия импульса;  $\Pi_{д}$  – коэффициент фазовых превращений Палатника материала детали;  $\Pi_{и}$  – коэффициент фазовых превращений Палатника материала инструмента;  $\delta_B$  – временное сопротивление разрушению;  $\delta_a$  – действующее значение амплитудного напряжения на поверхности трения;  $t$  – параметр фрикционной усталости при упругом контакте;  $\gamma$  – коэффициент после электроэрозионной обработки, который будет определен в ходе экспериментальных исследований.

### Заключение

В статье изложен общий подход к разработке функционально-ориентированных технологических процессов электроэрозионной обработки на основе целого комплекса новых принципов проектирования технологических процессов. Для реализации функционально-ориентированных технологий ЭЭО приведена общая методология и методика их выполнения. Функционально-ориентированные технологии ЭЭО существенно повышают технико-экономические показатели эксплуатации изделий и обеспечивают реализацию их полного потенциала возможностей. Создаются возможности для обеспечения равной долговечности и качества эксплуатации всех элементов изделия. При этом существенно снижаются трудовые затраты на изготовление изделий и их себестоимость. Приведены функциональные зависимости эксплуатационных показателей (усталостной прочности и износостойкости) от режимов электроэрозионной обработки.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Съянов, С.Ю. Связь параметров электрофизической обработки с показателями качества поверхности, износа инструмента и производительностью процесса // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2008. – № 1 (17). – С. 14–19.
2. Федонин, О.Н., Съянов, С.Ю. Методика определения технологических остаточных напряжений при механической и электрофизической обработке // Обработка

металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2002. – № 4. – С. 32.

3. Федонин, О.Н., Съянов, С.Ю., Фомченкова, Н.И. Управление износом инструмента и производительностью процесса при электроэрозионной обработке // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2014. – № 3. – С. 85–88.

4. Съянов, С.Ю. Технологическое управление параметрами качества поверхностного слоя деталей машин при электроэрозионной обработке // Научные технологии в машиностроении. – 2014. – № 6 (36). – С. 24–29.

5. Съянов, С.Ю. Теоретическое определение параметров качества поверхностного слоя деталей, износа электрода-инструмента и производительности процесса при электроэрозионной обработке // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2016. – № 1 (49). – С. 67–73.

6. Михайлов, А.Н. Общие особенности функционально-ориентированных технологий и принципы ориентации их технологических воздействий и свойств изделий // Машиностроение и техносфера XXI века: сб. тр. XIV междунар. науч.-техн. конф. (г. Севастополь, 17–22 сент. 2007 г.): в 5 т. – Донецк: ДонНТУ, 2007. – Т. 3. – С. 38 – 52.

7. Научные технологии в машиностроении / А.Г. Суслов, Б.М. Базров, В.Ф. Безъязычный и др.; под ред. А.Г. Суслова. – М.: Машиностроение, 2012. – 528 с.

8. Научные основы технологии машиностроения / А.Г. Суслов, А.М. Дальский. – М.: Машиностроение, 2002. – 684 с.

9. Федонин, О.Н., Съянов, С.Ю., Папикян, А.М. Обеспечение износостойкости и усталостной прочности поверхностей при электроэрозионной обработке // Научные технологии в машиностроении. – 2017. – № 11 (77). – С. 10–14.

## REFERENCES

1. Siyanov, S.Yu. Parameter connection of electro-physical treatment with indices of surface quality, tool wear and process productivity // *Bulletin of Bryansk State Technical University*. – 2008. – No.1 (17). – pp. 14-19.

2. Fedonin, O.N., Siyanov, S.Yu. Procedure of residual technological stresses definition at machining and electro-physical processing // *Metal Processing (Techniques, Equipment, Tools)*. – 2002. – No.4. – pp. 32.

3. Fedonin, O.N., Siyanov, S.Yu., Fomchenkova, N.I. Management of tool wear and process productivity at electro-erosion processing // *Bulletin of Bryansk State Technical University*. – 2014. – No.3. – pp. 85-88.

4. Siyanov, S.Yu. Technological control of surface layer quality parameters in machine parts at electro-erosion processing // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2014. – No.6 (36). – pp. 24-29.

5. Siyanov, S.Yu. Theoretical definition of quality parameters of parts surface layer, tool electrode wear and process productivity at electro-erosion processing // *Bulletin of*

*Bryansk State Technical University*. – 2016. – No.1 (49). – pp. 67-73.

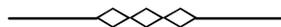
6. Mikhailov, A.N. General peculiarities of functionally-directed technologies and orientation principles of their technological effects and product properties // *Mechanical Engineering and Technosphere of the XXI-st Century: Proceedings of the XIV-th Inter. Scintif.-Tech. Conf.* (Sevastopol, September 17-22, 2007): in 5 Vol. – Donetsk: DonNTU, 2007. – Vol.3. – pp. 38-52.

7. *Science Intensive Technologies in mechanical Engineering* / A.G. Suslov, B.M. Bazrov, V.F. Beziyazychny et al.; under the editorship of A.G. Suslov. – M.: Mechanical Engineering, 2012. – pp. 528.

8. *Scientific Fundamentals of Engineering Techniques* / A.G. Suslov, A.M. Dalsky. – M.: Mechanical Engineering, 2002. – pp. 684.

9. Fedonin, O.N., Siyanov, S.Yu., Papikyan, A.M. Assurance of wear-resistance and fatigue strength of surfaces at electro-erosion processing // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2017. – No.11 (77). – pp. 10-14.

Рецензент д.т.н. Д.И. Петрешин



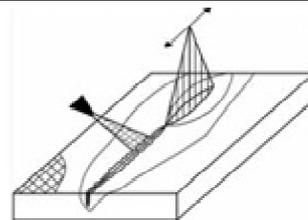
### Реклама Вашей продукции в нашем журнале – один из способов достижения Вашего успеха!

Журнал «Научно-технические технологии в машиностроении» читают руководители и специалисты предприятий машиностроительного комплекса.

Публикация рекламного объявления в нашем журнале даст Вам возможность:

- найти партнеров, заинтересованных в современных исследованиях, а также внедрении Ваших идей и разработок в области машиностроения;
- установить контакты с организациями и фирмами России и стран ближнего и дальнего зарубежья;
- наладить обмен информацией.

**Обращайтесь в редакцию! E-mail: [naukatm@yandex.ru](mailto:naukatm@yandex.ru)**



УДК 678.067621.892

DOI: 10.12737/article\_5a70c105c37ca0.77596531

**Ю.М. Зубарев**, д.т.н.  
(Санкт-Петербургский государственный морской технический университет),  
**А.В. Приемышев**, к.т.н.,  
**А.С. Заостровский**, аспирант  
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)  
E-mail: priemyshev52@mail.ru

## **Особенности лезвийной обработки резанием заготовок из полимерных композиционных материалов**

*Рассмотрены различия в результатах механической обработки металлов и композитов, а также влияние технологических параметров на результаты обработки. Показаны фрактографические особенности поверхностей стружек, полученных после механической обработки заготовок из различных полимерных композитных материалов, и передних поверхностей лезвий инструментов. Полученные результаты помогут оценить возможности физических моделей при резании заготовок из полимерных композитных материалов.*

**Ключевые слова:** стружка; полимерные композитные материалы; термореактопластичные и термопластичные материалы; хрупкое разрушение.

**Yu.M. Zubarev**, D. Eng.,  
(Saint-Petersburg State Marine Technical University)  
**A.V. Priomyshev**, Can. Eng.,  
**A.S. Zaostrovsky**, Post graduate student  
(Peter the Great Polytechnic University of Saint-Petersburg)

## **Cutting edge treatment peculiarities at cutting polymeric composite blanks**

*Differences in results of metal and composite machining and also the technological parameters impact upon results of machining are considered. Fracto-graphic peculiarities of chip surfaces obtained after different polymeric composite blanks machining, and front faces of cutting tool edges are shown. The results obtained will help to assess physical model potentialities at polymeric composite blank cutting.*

**Keywords:** chips; polymeric composite materials; thermo-reactoplastic and thermo-plastic materials; brittle fracture.

Композитные материалы являются неоднородными, поэтому процессы образования стружки при механической обработке резанием заготовок из полимеров, армированных волокном, и заготовок из металлов отличаются друг от друга. Однако существуют некоторые полимерные композитные материалы (ПКМ), поведение которых при механической обработке

резанием в какой-то степени совпадает с поведением некоторых металлов. Поэтому теория резания металлов может иногда применяться для объяснения физических явлений в зоне резания ПКМ, связанных с образованием стружки.

Процесс стружкообразования при механической обработке полимеров во многом зависит

от их физико-механических свойств, материала инструмента, переднего угла инструмента, радиуса округления режущей кромки и скорости резания.

Были проведены эксперименты по изучению фраттографических особенностей поверхностей режущих пластин резцов и поверхностей стружек, полученных при обработке образцов из терморезистивных полимеров. Заготовки из стеклопластика СТЭТ – пластина 800×400×25 мм. Обработка производилась на 3-х осевом фрезерном станке с ЧПУ КАФО КА 32 с модернизацией рабочей зоны для обработки ПКМ.

Стеклопластик представляет собой слоистый композиционный материал на основе стеклотканей марок Т-10, Т-11 и эпоксидного связующего. Инструмент – двухзубая фреза диаметром 22 мм, пластина из твердого сплава Walter – ADMT 120408R-G56 (WXP 45) (тип BK8), с покрытием PVD (длина пластины, радиус при вершине), предназначена для черновой обработки. В качестве технологической жидкости (ТЖ) использовали водно-эмульсионную жидкость.

При точении заготовки диаметром 78 мм и длиной 60 мм были изготовлены из углепластика марки УГЭТ с наполнителем из углеродистой ткани марки УРАЛ, пропитанной связующим. Структура обрабатываемого изделия ПКМ – фенолформальдегидная матрица, армированная низкомолекулярным вязким углеродным волокном. Технологический процесс производства заготовки – метод намотки с последующим отверждением в гидравлическом прессе.

В качестве режущего инструмента использовался поликристаллический алмаз АСПК с геометрией:  $\alpha = 0...2^\circ$ ,  $\gamma = 20^\circ$ ,  $\phi = 45^\circ$ ,  $\phi_1 = 20^\circ$ ,  $r = 4$ ; радиус округления режущего лезвия  $\rho = 3...5$  мкм, а также пластина из твердого сплава P1100-6807368 (ПКА) с державкой Walter turn и с прижимом повышенной жесткости. Сечение 25×25, радиусы при вершине 0,4 мм. Режимы обработки: частота вращения шпинделя – 4 000 об/мин, подача – 0,25 мм/об. Скорость резания при точении 280 м/мин. В качестве технологической жидкости использовали водно-эмульсионную жидкость. Эксперименты проводились на токарном обрабатывающем центре с ЧПУ мод. SL6 Milltronics (США). Исследования проводились на сканирующем электронном микроскопе Supra 55VP (Karl Zeiss), оснащенный приставкой для микрорентгеноспектрального анализа X-Max (Oxford Instruments).

Результаты электронно-микроскопических исследований поверхностей стружек позволяют

сделать ряд выводов, доказывающих, что стружка образуется путем хрупкого разрушения из-за возникновения и распространения трещин в зоне первичного сдвига после частичного образования стружки.

На фото хорошо видны поверхности хрупкого разрушения стружек без видимой пластической деформации со следами сколов, разломов (рис. 1, д, е; рис. 2, д, е, ж, з, и; рис. 3, в, г, д, е). Сегменты полностью отделены друг от друга путем хрупкого разрушения материала в зоне первичного сдвига или перед ней.

Среди стружек наблюдаются фрагменты с мелкими, средними и большими размерами с хорошо видимыми объемными элементами волокна. Подобная стружка возникает при механической обработке заготовок из углепластика УГЭТ, стеклопластика СТЭТ инструментом из твердого сплава и поликристаллического алмаза АСПК, а также таких хрупких материалов, как черные металлы, керамика и большинство композитов, армированных волокном. При обработке заготовок из этих хрупких материалов перед инструментом образуется трещина, что приводит к разрушению поверхности и ухудшению качества ее обработки [1].

Следует отметить, что при обработке заготовок из СТЭТ образуется стружка за счет частичного изгиба и растрескивания. Стекло представляет собой аморфный материал, поэтому поверхность разрушения стекловолокна является более гладкой по сравнению с другими волокнами (рис. 3).

Углеродные волокна образуют стружку за счет резкого хрупкого разрушения с очень небольшой деформацией. Поверхность разрушения зазубренная, с отдельными гранями, наклоненными к оси волокна (см. рис. 1 и 2).

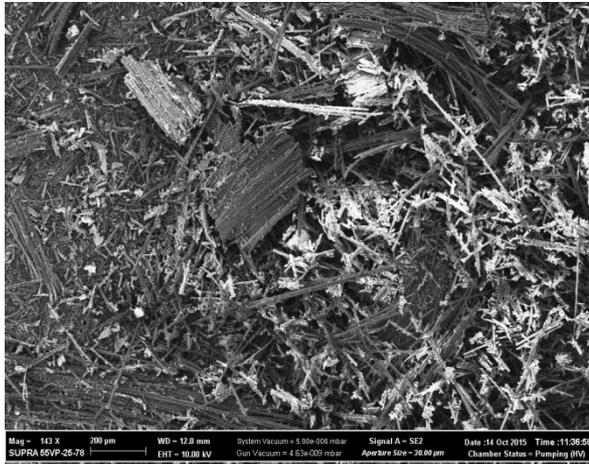
Как показали результаты экспериментов, реакция терморезистивных и термопластичных материалов на приложенную нагрузку различается. Первые имеют очень небольшую деформацию до разрушения и поэтому ведут себя как хрупкие материалы. Вторые, как правило, пластичны, имеют достаточно большую деформацию до разрушения.

Предел прочности и относительное удлинение полимеров при разрыве также зависит от скорости приложения нагрузки. Поэтому тип образуемой стружки и качество обрабатываемой поверхности полимеров различных типов будут варьироваться в зависимости от параметров процесса резания [1].

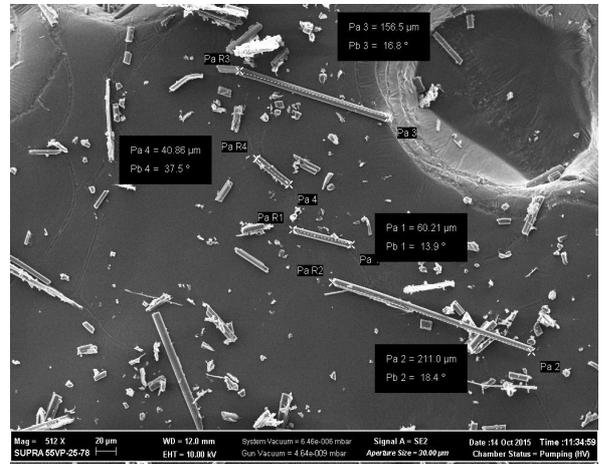
Увеличение переднего угла инструмента приводит к уменьшению степени деформации, которой подвергается материал при образова-

нии стружки. Сколы более гладкие, без резких изломов (см. рис. 2, ж, з, и). Увеличение скорости резания приводит, с одной стороны, к разрушению при более низкой деформации или по причине высокой хрупкости материала. С другой стороны, выделяемое в зоне резания тепло

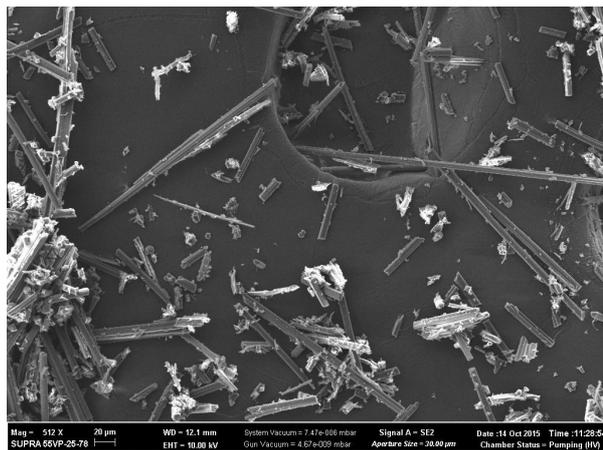
приводит к повышению температуры и, тем самым, увеличивает подвижность молекулярных цепей материала, а значит, повышает его пластичность. Какой из этих факторов будет доминирующим, зависит от молекулярной массы полимера и температуры его стеклования [2, 3].



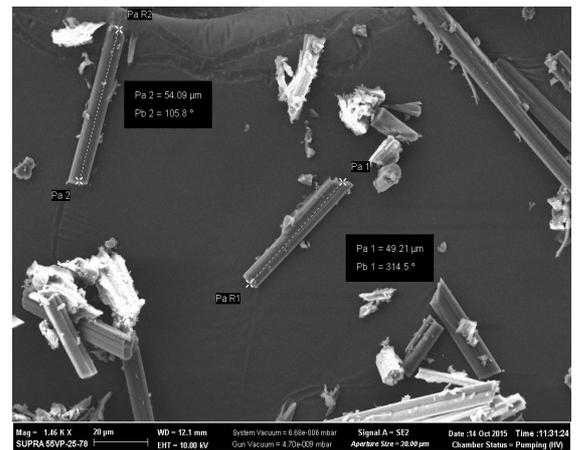
а)



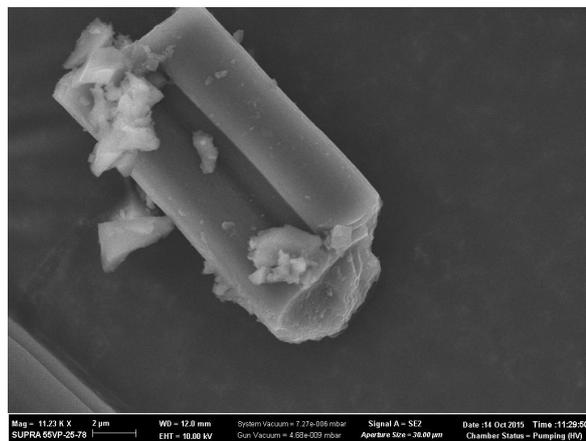
б)



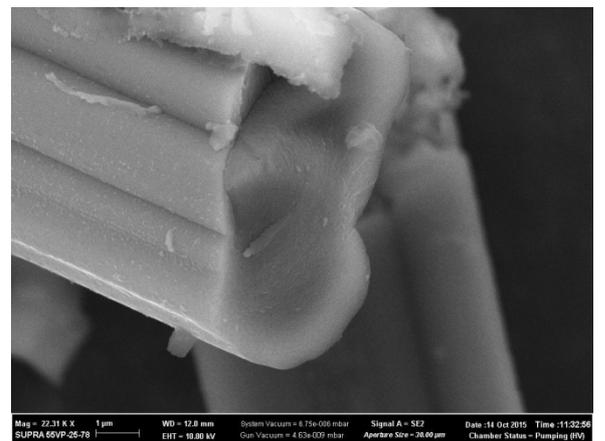
в)



з)



д)



е)

Рис. 1. Стружки, полученные при механической обработке заготовок из углепластика УГЭТ пластиной из твердого сплава P1100-6807368 (ПКА) с державкой Walterturn с прижимом повышенной жесткости, сечение 25×25, радиусы при вершине 0,4 мм:

а, б, в, з – стружка; д, е – поверхности разломов

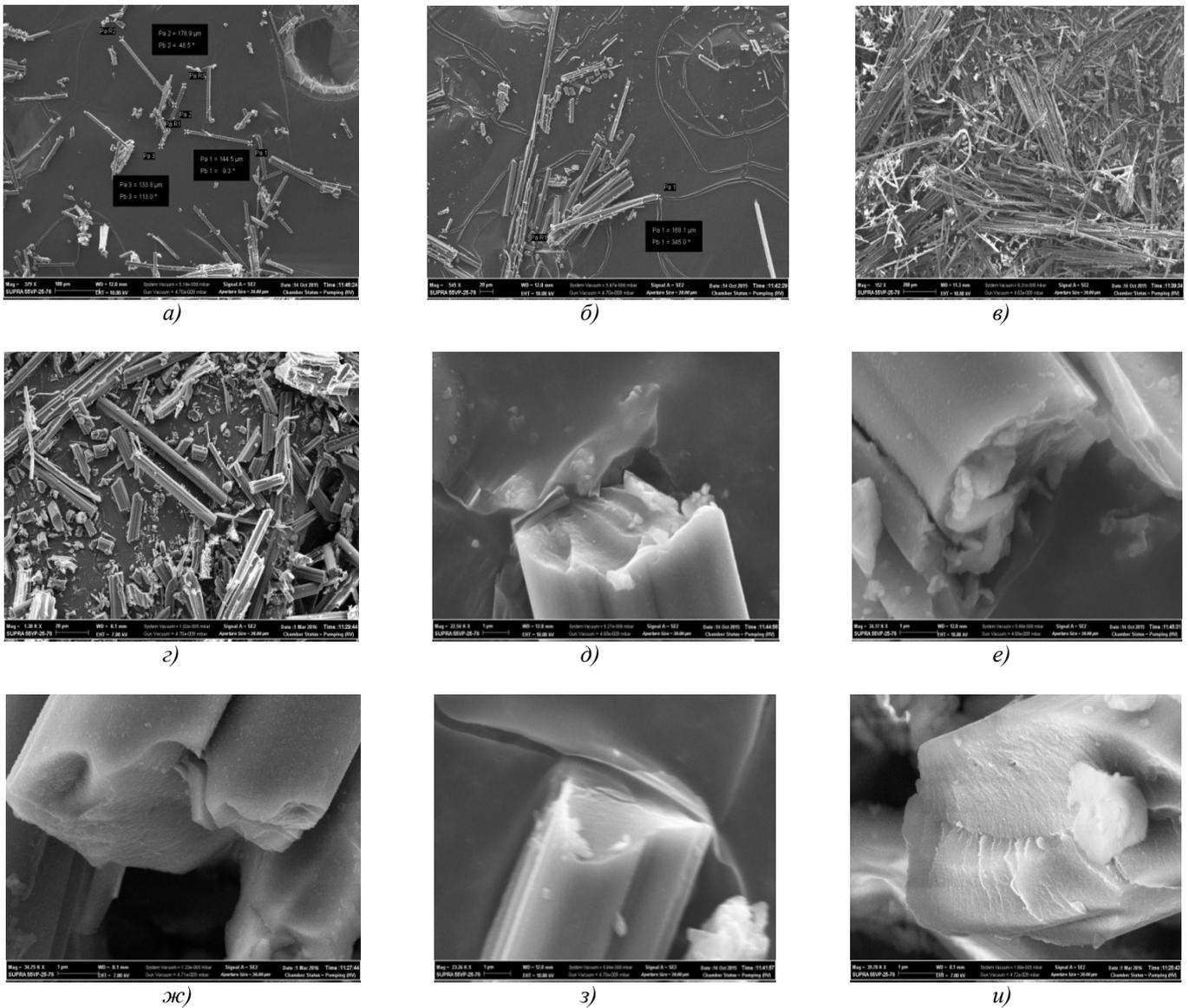


Рис. 2. Стружки, полученные при механической обработке заготовок из углепластика УГЭТ инструментом из поликристаллического алмаза АСПК с геометрией  $\alpha = 0...2^\circ$ ,  $\varphi = 45^\circ$ ,  $\varphi_1 = 20^\circ$ ,  $\rho = 3...5$  мкм:  
*а, б, в, г* – стружка; *д, е* – поверхности разломов  $\gamma = 20^\circ$ ; *ж, з, и* – поверхности разломов  $\gamma = 0^\circ$

Удельная теплоемкость полимеров, как правило, больше, чем у металлов, а их теплопроводность значительно ниже. При одинаковых уровнях теплонапряженности в зоне резания и при равных съемах материала нагрев полимеров при обработке будет больше, чем металлов. В процессе резания тепло генерируется сдвигом в зоне первичной деформации, а также за счет трения между стружкой и передней поверхностью инструмента и трения между заготовкой и задней поверхностью инструмента. Большая часть этого тепла (до 70 % при высокой скорости резания) удаляется из зоны резания вместе со стружкой [4].

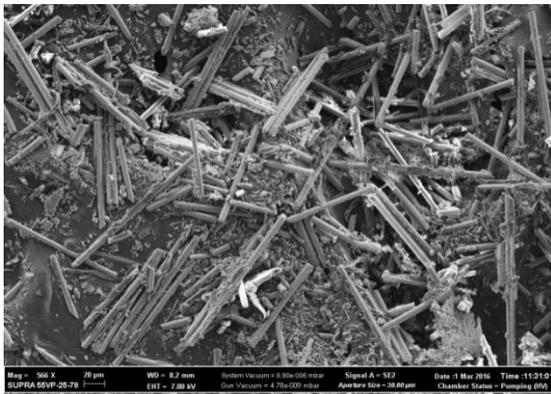
При механической обработке угле- и стеклопластиков из-за их низкой теплопроводности

тепло, выделяемое в зоне первичного сдвига, медленно передается инструменту. Тепло в тонком межфазном слое отводится за счет теплопроводности.

Как было показано в работе [3], количество тепла, отводимого стружкой из зоны первичного сдвига при более высоких скоростях резания достигает 90 %. Также, из-за низкой теплопроводности, локализованный нагрев, возникающий из-за трения между лезвием инструмента и поверхностью заготовки, может вызвать перегрев, способный привести к расплавлению обрабатываемой поверхности термореактивных полимеров и перетеканию его на переднюю поверхность инструмента. Однако, как показали результаты визуальных исследований передней

поверхности инструментов, ни на поверхности алмазов (рис. 4, а, б), ни на поверхности пластины твердого сплава (рис. 4, в, г) наличие наплавленного материала обрабатываемой заго-

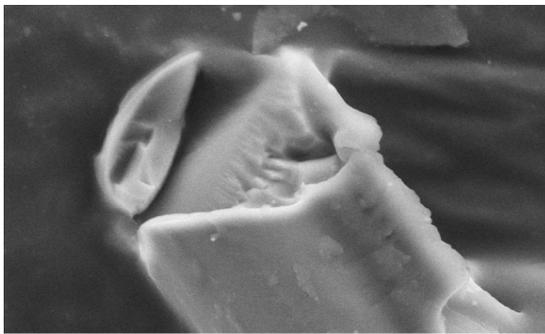
товки не было обнаружено (рис. 5, 6). На пластине из твердого сплава обнаружены следы сколов (рис. 4, в, г).



а)



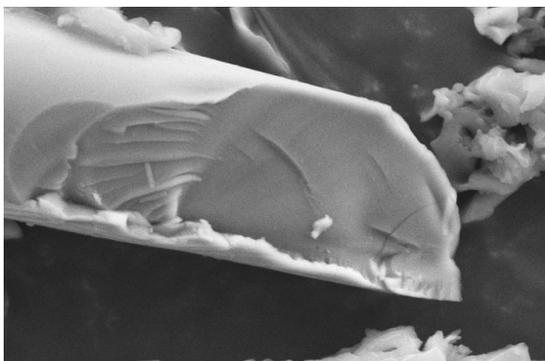
б)



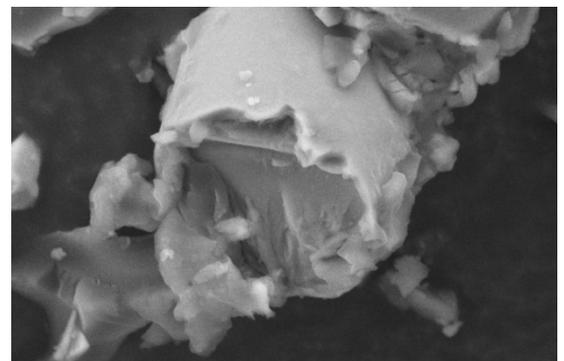
в)



г)



д)



е)

Рис. 3. Стружки, полученные при механической обработке заготовок из стеклопластика СТЭТ пластиной из твердого сплава Walter – ADMT 120408R-G56 (WXP 45) (тип BK8), с покрытием PVD:

а, б – стружка; в, г, д, е – поверхности разломов

При механической обработке полимеров возможно образование нескольких типов стружки в зависимости от типа полимера, геометрии инструмента и условий резания [5]. Непрерывная эластичная стружка образуется при небольших скоростях резания и при наличии большого положительного переднего угла ин-

струмента; при механической обработке материалов, обладающих высокой способностью к упругой деформации. Данный тип стружки практически полностью образуется за счет упругой деформации материала (для образования неэластичной стружки необходимо разделение полимерных цепей).

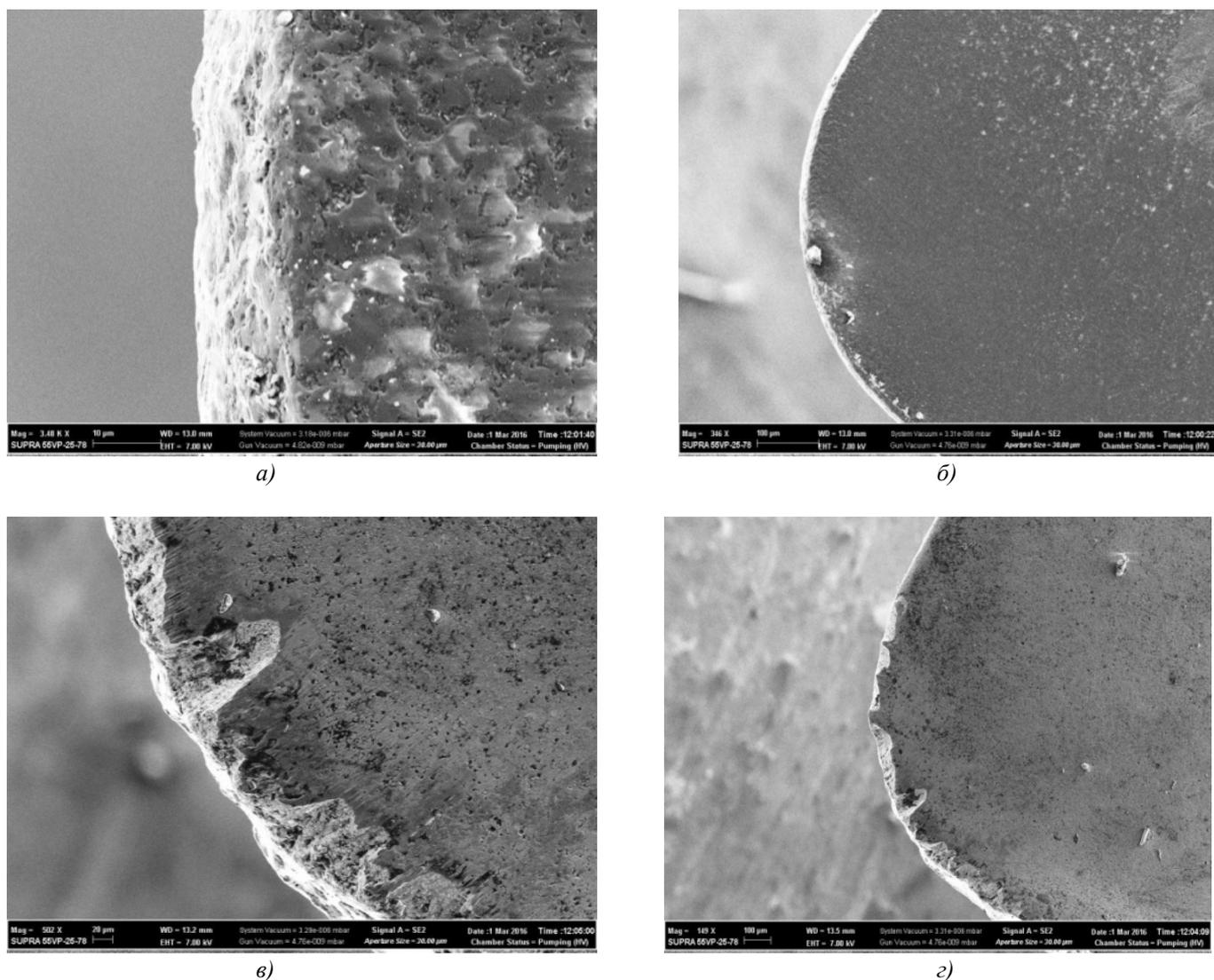


Рис. 4. Фотографии передних поверхностей инструментов из поликристаллического алмаза АСПК (*а, б*); инструмента с пластиной из твердого сплава P1100-6807368 (ПКА) с державкой Walterturn с прижимом повышенной жесткости (сечение 25×25, радиусы при вершине 0,4 мм) (*в, з*)

Элементная стружка образуется при механической обработке таких хрупких материалов, как терморектопласты и некоторые термопласты инструментом с большим передним углом и при большой глубине резания. Перед режущей кромкой возникает трещина, стружка образуется за счет действия на материал изгибающего момента и когда трещина достигает определенной длины. Это приводит к неудовлетворительному качеству поверхности после механической обработки.

### Заключение

Физические процессы, происходящие в зоне резания при механической обработке полимерных композитов, во многом аналогичны процессам при обработке однородных металлов.

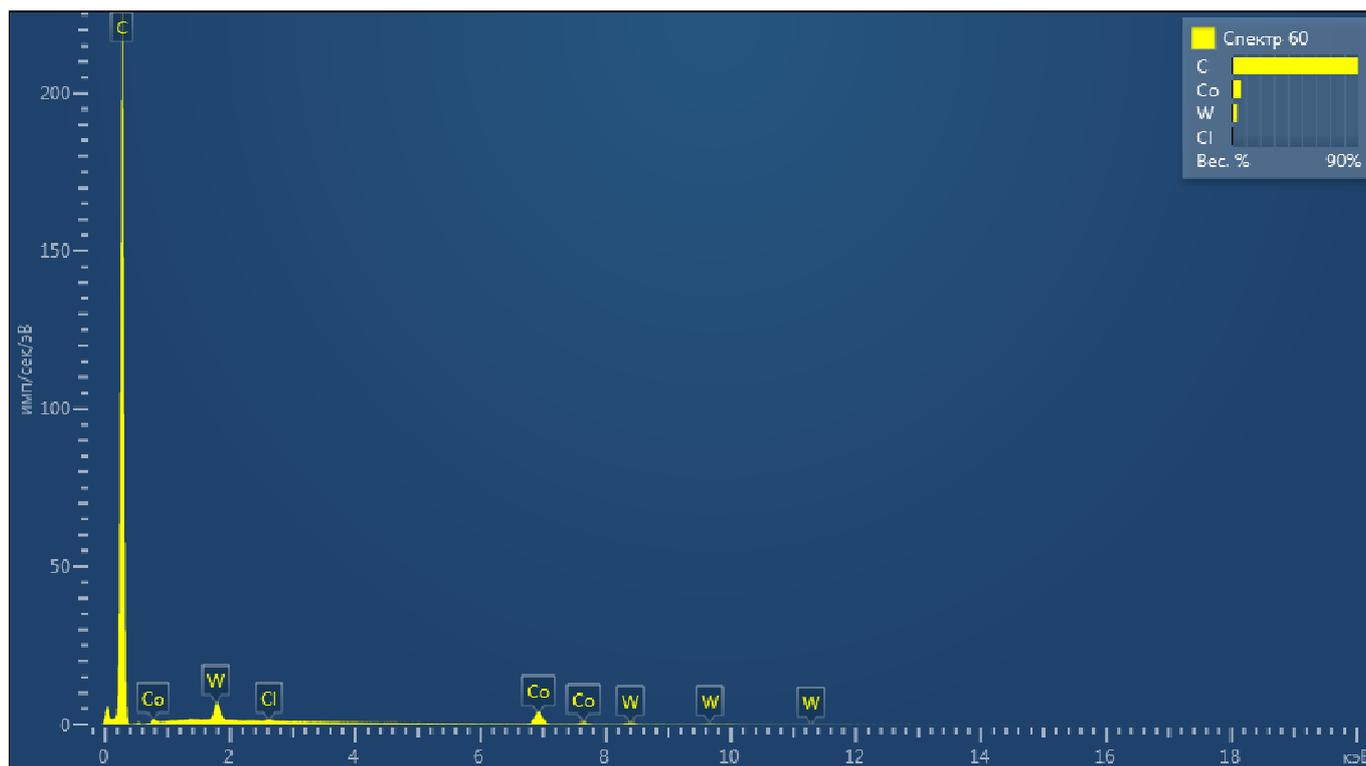
Исследования поверхностей стружек и лезвий режущих инструментов после механической обработки заготовок из жестких и прочных терморектопластов показали, что образование стружки происходит за счет хрупкого разрушения материала. Однако качество обработанной поверхности значительно выше при обработке с образованием непрерывной стружки.

В целом, характер стружкообразования при механической обработке термопластиков и терморектопластиков зависит от скорости резания и переднего угла режущего инструмента. Переход от пластичности к хрупкости происходит при увеличении скорости резания. Это связано с чувствительностью полимеров к изменению скорости.

С увеличением скорости деформации предел прочности материала возрастает, а предельное

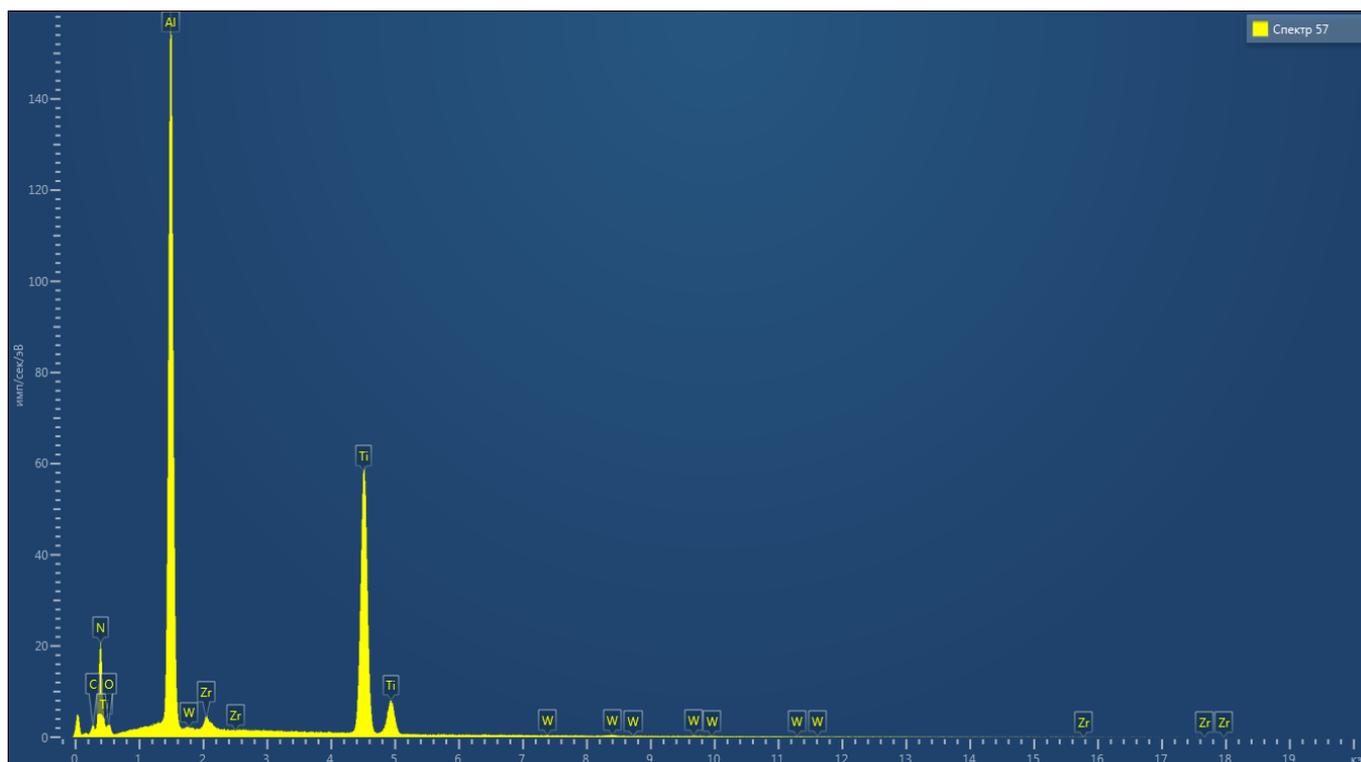
удлинение при разрыве уменьшается. Кроме того, увеличение переднего угла инструмента приводит к уменьшению пластической деформации и способствует образованию непрерывной стружки сдвигового типа. Имея низкую теплопроводность и высокую теплоемкость, полимеры способны удерживать больше тепла, возникающего при механической обработке, чем металлы. Это, в свою очередь, приводит к увеличению температуры и пластичности материала.

Механическая обработка однонаправленных волокнистых полимеров в значительной степени зависит от ориентации волокон и в меньшей степени – от переднего угла режущего инструмента. Тип стружкообразования для конкретной ориентации волокон определяет получаемое качество поверхности и динамические характеристики сил резания. Образование непрерывной стружки, как правило, не встречается при обработке однонаправленных волокнистых полимеров.



Элемент	Тип линии	Условная концентрация	Отношение $k$	Вес, %	Сигма Вес, %	Название эталона	Предустановленный эталон	Дата калибровки эталона
C				89,56				
Cl	К серия	0,14	0,00119	0,15	0,02	NaCl	Да	
Co	К серия	4,88	0,04884	6,35	0,09	Co	Да	
W	М серия	3,22	0,03219	3,95	0,08	W	Да	
Сумма:				100,00				

Рис. 5. Результаты микрорентгеноспектрального анализа на приставке к сканирующему электронному микроскопу X-Max передней поверхности инструмента из поликристаллического алмаза АСПК. Диаметр первичного электронного пучка – 0,1...0,5 мкм, ускоряющее напряжение 20 кВ, площадь кристалла 80 мм<sup>2</sup>, разрешение 124 эВ. По оси ординат – интенсивность (весовой % элемента), по оси абсцисс – энергия квантов рентгеновского излучения при экспонировании электронных пучков



Элемент	Тип линии	Условная концентрация	Отношение $k$	Вес, %	Сигма Вес, %	Название эталона	Предустановленный эталон	Дата калибровки эталона
N	К серия	44,52	0,07927	25,36	0,40	BN	Да	
O	К серия	1,56	0,00527	5,01	0,31	SiO <sub>2</sub>	Да	
Al	К серия	35,92	0,25802	33,83	0,24	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Да	
Ti	К серия	33,58	0,33582	33,67	0,24	Ti	Да	
Zr	L серия	1,40	0,01405	1,87	0,11	Zr	Да	
W	M серия	0,17	0,00169	0,26	0,11	W	Да	
Сумма:				100,0				

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Зубарев, Ю.М., Приемышев, А.В., Заостровский, А.С.** Полимерные материалы в машиностроении и технологии их обработки. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – 172 с.
2. **Xiao K.Q., Zhang L.C.** The role of viscous deformation in the machining of polymers // *International Journal of Mechanical Sciences*, 44, 2317–2336, 2002, pp. 123–131.
3. **Gubbels G.P.H.** Diamond Turning of Glassy Polymers, PhD Thesis, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, 2006, pp. 35–39.
4. **Shaw M.C.** Metal Cutting Principles, 2nd Edition, Oxford University Press, New York, NY, 2005, p. 234.
5. **Приемышев, А.В., Заостровский, А.С.** Особенности

механической обработки высокотехнологичных полимерных композиционных материалов на основе углеродного волокна с термопластичной матрицей // *Наука и образование: инновации, интеграция и развитие*. 2014. №1. – С. 174–179.

### REFERENCES

1. Zubarev, Yu.M., Priyomyshev, A.V., Zaostrovsky, A.S. *Polymeric Materials in Mechanical Engineering and Technologies for Their Machining*. – S-Pb.: Polytechnics Publishers, 2017. – pp. 172.
2. Xiao K.Q., Zhang L.C. The role of viscous deformation in the machining of polymers // *International Journal of Mechanical Sciences*, 44, 2317–2336, 2002, pp. 123–131.

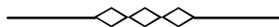
3. Gubbels G.P.H. Diamond Turning of Glassy Polymers, PhD Thesis, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, 2006, pp. 35–39.

4. Shaw M.C. Metal Cutting Principles, 2nd Edition, Oxford University Press, New York, NY, 2005, p. 234.

5. Priyomyshev, A.V., Zaostrovsky, A.S. Machining pecu-

liarities of high-technology polymeric composite materials based on carbon fiber with thermoplastic matrix // *Science and Education: Innovations, Integration and Development*. 2014. – No.1. – pp. 174-179.

Рецензент д.т.н. А.В. Хандоужко



**ИЗДАТЕЛЬСТВО НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО И ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЖУРНАЛА**

**«Научноёмкие технологии в машиностроении»**

**объявляет подписку на 2018 год**

Подписные индексы  
по каталогам:

**«Роспечать» – 79195,**

Журнал выходит с 2011 г.

**«Пресса России» – 39536.**

Почтовый адрес издательства:

241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, д. 7,

**Редакция издания приглашает авторов публикаций к совместной работе.**

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Брянский государственный технический университет"

Адрес редакции и издателя: 241035, Брянская область, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7  
ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»

Телефон редакции журнала: 8-903-592-87-39. E-mail: naukatm@yandex.ru

*Вёрстка А.А. Алисов. Технический редактор А.А. Алисов. Корректор Н.В. Дюбкова.*

Сдано в набор 10.12.2017. Выход в свет 31.01.2018.

Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,88.

Тираж 500 экз. Свободная цена.

Отпечатано в лаборатории оперативной полиграфии

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Брянский государственный технический университет"

241035, Брянская область, г. Брянск, ул. Институтская, 16

