

# ИНЖЕНЕРНЫЙ ЖУРНАЛ СПРАВОЧНИК

# 8 (209)

# 2014

## С приложением

## Научно-технический и производственный журнал

## Издается с января 1997 года

## ЖУРНАЛ ВЫХОДИТ ПРИ СОДЕЙСТВИИ МЕЖДУНАРОДНОГО СОЮЗА МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ

### СОДЕРЖАНИЕ

#### Современные технологии

**Макаров В. Ф., Абзаев Р. С.** Влияние увеличения скорости резания на параметры качества поверхностного слоя пазов дисков турбин при протягивании твердосплавными протяжками ..... 3

**Бойцов А. Г., Качко В. В., Курицын Д. Н.** Технологические возможности и специальное оснащение высокоскоростной перемешивающей сварки трением авиационных материалов и конструкций ..... 9

**Афонасов А. И.** Обрабатываемость заготовок из титанового сплава BT22, прошедших горячую обработку с защитными покрытиями ..... 18

#### Конструирование, расчеты

**Архангельский Г. В., Ромашкевич С. А.** Обобщенный метод определения жесткости и построения упругой характеристики роликовых механизмов свободного хода ..... 22

**Зябликов В. М., Ширшов А. А.** Расчет жесткости муфт с упругими элементами в виде стальных стержней круглого сечения ..... 26

**Балезин Н. М.** Современность конструкторского решения ..... 31

#### Автоматизация инженерного труда

**Жилин В. И., Кондаков А. И.** Оценивание технологического потенциала и временных ресурсов производственной системы ..... 36

#### Металлорежущие станки и инструменты

**Кирсанов С. В., Трифонов С. В., Бабаев А. С.** Шлифование твердосплавных стержней на бесцентровых круглошлифовальных станках ..... 40

**Баландин А. Д., Даниленко Б. Д.** Анализ возможностей оптимизации методов получения винтовых стружечных канавок на цилиндрических фрезях ..... 42

**Коротков В. А., Минкин Е. М.** Взаимосвязь геометрии и напряжений в ориентированных шлифовальных зернах ..... 46

#### Сегодня – студент, завтра – инженер

**Кондаков А. И., Васильев А. С.** Теория принятия проектных решений (конспект лекций). *Продолжение* ..... 50

Журнал зарегистрирован в Комитете Российской Федерации по печати. Свидетельство о регистрации № 014670 от 25.12.1997 г., Свидетельство о перерегистрации ПИ № ФС 77-46364 от 26.08.2011 г.

Журнал входит в перечень утвержденных ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей ученых степеней

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, публикуемых в журнале «Справочник. Инженерный журнал», допускаются со ссылкой на источник информации и только с разрешения редакции

**Председатель редакционного совета**  
академик РАН, д-р техн. наук  
Р. Ф. ГАНИЕВ

**Заместитель председателя редакционного совета**  
д-р техн. наук, проф.  
А. В. КИРИЧЕК

**Главный редактор**  
П. Е. КЛЕЙЗЕР

**Заместитель главного редактора**  
А. А. КУЛИКОВА

**Редакция:**  
С. М. МАКЕЕВА, А. А. КУЛИКОВА

#### Редакционный совет:

В. Ф. БЕЗЪЯЗЫЧНЫЙ, д-р техн. наук, проф.	А. Ю. КОНЬКОВ, канд. техн. наук
А. И. БЕЛЯКОВ, канд. техн. наук	В. Г. МАЛИНИН, д-р физ.-мат. наук, проф.
А. И. БОЛДЫРЕВ, д-р техн. наук, проф.	Г. А. НУЖДИН, канд. техн. наук
Р. БЛАШКОВИЧ, д-р техн. наук, проф. (Словакия)	Ю. В. ПАНФИЛОВ, д-р техн. наук, проф.
Р. Я. ВАКУЛЕНКО, д-р эконом. наук, проф.	В. П. ПУЧКОВ, д-р техн. наук, проф.
В. А. ГОЛЕНКОВ, д-р техн. наук, проф.	С. В. ПЫТКО, д-р техн. наук, проф. (Польша)
О. А. ГОРЛЕНКО, д-р техн. наук, проф.	В. Я. РАСПОПОВ, д-р техн. наук, проф.
С. Н. ГРИГОРЬЕВ, д-р техн. наук, проф.	В. П. СМОЛЕНЦЕВ, д-р техн. наук, проф.
М. А. ЕВДОКИМОВ, д-р техн. наук, проф.	Ю. С. СТЕПАНОВ, д-р техн. наук, проф.
А. А. ЖУКОВ, канд. техн. наук, проф.	А. Г. СХИРТЛАДЗЕ, д-р техн. наук, проф.
В. Л. ЗАКОВОРОТНЫЙ, д-р техн. наук, проф.	В. М. ТРУХАНОВ, д-р техн. наук, проф.
Ю. М. ЗУБАРЕВ, д-р техн. наук, проф.	В. М. ШАРИПОВ, д-р техн. наук, проф.
А. С. КАЛАШНИКОВ, д-р техн. наук, проф.	С. Ю. ШАЧНЕВ, канд. техн. наук
С. В. КИРСАНОВ, д-р техн. наук, проф.	В. П. ЧИРКОВ, д-р техн. наук, проф.

Подписку на журнал можно оформить в любом почтовом отделении, или непосредственно в издательстве. Индексы по каталогам:

«Роспечать» 72428, «Пресса России» 41299, «Почта России» 60255

Телефоны редакции:  
(495) 589 56 81, (495) 514 76 50

Адрес редакции: 119048, г. Москва,  
ул. Усачева, д. 35, стр. 1

E-mail: hb@idspektr.ru; sizhpost@gmail.com

Http://www.handbook-j.ru; Http://www.idspektr.ru

# HANDBOOK

## AN ENGINEERING JOURNAL

### 8 (209)

### 2014

**With supplement**

**Scientific, technical and production monthly journal**  
**Publishes from January, 1997**

**THE MAGAZINE IS PUBLISHED UNDER THE PATRONAGE OF INTERNATIONAL UNION OF MECHANICAL ENGINEERS**

## CONTENTS

### Up-to-date Technologies

- Makarov V. F., Abzayev R. S.** Research of Influence of Increase of Speed of Cutting on Change of Parameters of Quality of a blanket of Grooves of Disks of Turbines at Drawing Hard-alloy Prottyazhka ..... 3
- Boytssov A. G., Kachko V. V., Kuritsyn D. N.** Technological Capabilities and Special Equipment of High-Speed Friction Stir Welding by Aviation Materials and Assemblage ..... 9
- Afonasov A. I.** Machinability of Titanium Alloy VT22 Workpieces After hot Working with Protective Coatings ..... 18

### Constructing, Calculations

- Archangelsky G. V.** The Generalized Method of Stiffness Determining and Constructing of the Elastic Characteristic of the Free-Wheel Mechanisms ..... 22
- Zyablikov V. M., Chirchov A. A.** The Calculation of the Stiffness of Joints with Elastic Elements in the Form of Steel Bars of Round Section ..... 26
- Balezin N. M.** Modernity of the Designer Decision ..... 31

### Automation of Engineer's Work

- Jilin V. I., Kondakov A. I.** Evaluation of Technological Potential and Time Resources of Manufacturing System ..... 36

### Metal-Cutting Machines and Tools

- Kirsanov S. V., Trifonov S. V., Babaev A. S.** Grinding of Cemented Carbide Rods on Centerless Grinding Machines ..... 40
- Balandin A. D., Danilenko B. D.** Analysis of Optimization Possibilities for Tool Chip Grooves Production on Plane Milling Cutters ..... 42
- Korotkov V. A., Minkin E. M.** Interconnection of Geometry and Tension in the Orientated Abrasive Grains ..... 46

### Today – a Student, Tomorrow – Engineer

- Kondakov A. I., Vasiliev A. S.** The Theory of Making Design Decisions (Lecture Notes). *Continuation* ..... 50

### President of Editorial advisory

Academician of RAS, Dr of Eng. Sc.  
**R. F. GANIEV**

### Chairman Assistant

Dr of Eng. Sc., Prof.  
**A. V. KIRICHEK**

### Editor-in-Chief

**P. E. KLEYZER**

### Editorial council

**A. A. KULIKOVA**

### Edition:

**S. M. MAKEEVA, A. A. KULIKOVA**

### Editorial council:

<b>V. F. BEZYAZYCHNY,</b> Dr of Eng. Sc., Prof.	<b>A. Yu. KON'KOV,</b> Cand. of Eng. Sc., Prof.
<b>A. I. BELYAKOV,</b> Cand. of Eng. Sc.	<b>V. G. MALININ,</b> Dr P.-H. Sc., Prof.
<b>A. I. BOLDYREV,</b> Dr of Eng. Sc., Prof.	<b>G. A. NUZHDIN,</b> Cand. of Eng. Sc.
<b>R. BLAZHKOVICH,</b> Dr of Eng. Sc., Prof. (Slovakia)	<b>Yu. V. PANFILOV,</b> Dr of Eng. Sc., Prof.
<b>R. Ya. VAKULENKO,</b> Dr. of Econom. Sc, Prof.	<b>V. P. PUCHKOV,</b> Dr of Eng. Sc., Prof.
<b>V. A. GOLENKOV,</b> Dr of Eng. Sc., Prof.	<b>S. V. PYTKO,</b> Dr of Eng. Sc., Prof. (Poland)
<b>O. A. GORLENKO,</b> Dr of Eng. Sc., Prof.	<b>V. Ya. RASPOPOV,</b> Dr of Eng. Sc., Prof.
<b>S. N. GRIGORIEV,</b> Dr of Eng. Sc., Prof.	<b>V. P. SMOLENTSEV,</b> Dr of Eng. Sc., Prof.
<b>A. A. ZHUKOV,</b> Cand. of End. Sc., Prof.	<b>Yu. S. STEPANOV,</b> Dr of Eng. Sc., Prof.
<b>V. L. ZAKOVOROTNY,</b> Dr of Eng. Sc., Prof.	<b>A. G. SHIRTLADZE,</b> Dr of Eng. Sc., Prof.
<b>Yu. M. ZUBAREV,</b> Dr of Eng. Sc., Prof.	<b>V. M. TRUHANOV,</b> Dr of Eng. Sc., Prof.
<b>A. S. KALASHNIKOV,</b> Dr of Eng. Sc., Prof.	<b>V. M. SHARIPOV,</b> Dr of Eng. Sc., Prof.
<b>S. V. KIRSANOV,</b> Dr of Eng. Sc., Prof.	<b>S. Yu. SHACHNEV,</b> Cand. of Eng. Sc.
	<b>V. P. CHIRKOV,</b> Dr of Eng. Sc., Prof.

The journal is being distributed according to a subscription, which is available in any post office or at the publishing house directly. Indexes in the catalogue: "Rosspechat" – 72428, Joint Catalogue "Pressa Rossii" – 41299, bi the catalogue "Pochta Rossii" – 60255

The journal is registered in State Committee of Russian Federation on printing. Registration certificate N 014670 at 25.12.1997. Re-registration ПИ N ФС 77-46364 at 26.08.2011.

**The Journal is among those approved by VAC RF for dissertation publication.**

Reprint, all types of copying and reproduction of the materials published in the journal "Handbook. An Engineering journal" are allowed only with the permission from the editors and with the reference to the source of information. Advertisers are fully responsible for the content of the

Tel.: (495) 589 56 81; (495) 514 76 50

Edition address: Buil. 1, Usacheva St. 35,  
 Moscow, Russia, 119048

E-mail: hb@idspektr.ru; sizhpost@rambler.ru

Http://www.handbook-j.ru; www.idspektr.ru

Для условий оптимального резания, используя факт стабильности процесса резания и, как следствие, высоты неровностей, можно определять влияние условий обработки, в частности, режимов резания на предел выносливости, который характеризуется эффективным коэффициентом концентрации напряжений, приведенным в работах Р. Петерсоном:

– при кручении и сдвиге:

$$K_{\sigma} = 1 + \frac{0,33 \frac{Sm}{r} \sqrt{\gamma} A_1^{\frac{2}{1-n_0}}}{Sm^2 + 0,875 \frac{a_m}{r} A_1^{\frac{2}{1-n_0}}};$$

– при растяжении и изгибе:

$$K_{\sigma} = 1 + \frac{0,66 \frac{Sm}{r} \sqrt{\gamma} A_1^{\frac{2}{1-n_0}}}{Sm^2 + 0,875 \frac{a_m}{r} A_1^{\frac{2}{1-n_0}}}, \quad (3)$$

где  $Sm$  – средний шаг неровностей профиля, м;  $r$  – радиус при вершине резца в плане, м;  $\gamma$  – коэффициент, зависящий от отношения шага неровностей к их высоте. Значение его определяется по графику, представленному на рис. 1;  $a_m$  – константа материала. Значения ее следует принимать в зависимости от предела прочности материала на растяжение из табл. 2:

$$K_{\sigma} = 1 + q_{\sigma}(\alpha_{\sigma} - 1),$$

где  $\alpha_{\sigma}$  – теоретический коэффициент концентраций нормальных напряжений.

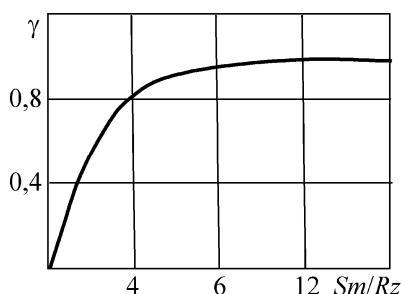


Рис. 1. Зависимость коэффициента  $\gamma$  от отношения шага неровностей к их высоте

## 2. Значение $a_m$

Предел прочности материала на разрыв $\sigma_B$ , МПа	$a_m$ , мм	Предел прочности материала на разрыв $\sigma_B$ , МПа	$a_m$ , мм
350	0,38	1050	0,09
530	0,25	1400	0,05
700	0,17	1760	0,03
880	0,13	–	–

$$\text{– при кручении и сдвиге} \quad \alpha_{\sigma} = 1 + \sqrt{\gamma \frac{t}{\rho}};$$

$$\text{– при растяжении и изгибе} \quad \alpha_{\sigma} = 1 + 2 \sqrt{\gamma \frac{t}{\rho}},$$

где  $\alpha_{\sigma}$  – максимальная глубина впадины концентратора напряжений;  $\rho$  – радиус кривизны на дне впадины;  $\gamma$  – коэффициент, зависящий от отношения шага неровностей к их высоте;  $t$  – высота микронеровностей. Значение его определяется по графику, представленному на рис. 1.

Принимаем  $t = Rz$ , так как при обработке при оптимальной температуре резания высота микронеровностей на поверхности  $Rz \approx R_{\max}$ . Принимаем также  $\rho = r_{\text{вп}}$ , который при обработке лезвийным инструментом равен  $0,03(Sm^2 / Ra) q_{\sigma}$  – коэффициент чувствительности металла к концентрации напряжений (по данным Н. Б. Демкина). На основании исследований Р. Петерсона

$$q_{\sigma} = \frac{1}{1 + \frac{a_m}{r_{\text{вп}}}}.$$

Значение  $A_1$  в формулах (3) определяется по формуле (1).

На основе этого представляется возможным определять при допустимом коэффициенте концентрации напряжений величину подачи и других параметров, характеризующих условия резания и обеспечивающих требуемые значения усталостной прочности.

Для обеспечения заданного предела выносливости необходимы определенные сочетания значений параметров качества поверхностного слоя, получить которые можно при управлении процессом резания. С этой целью целесообразно найти зависимость между пределом выносливости материала обрабатываемой детали и режимами обработки, а следовательно, и параметрами качества поверхностного слоя через энергетический критерий процесса резания  $A$ , характеризующий работу, затрачиваемую на снятие припуска. В качестве критерия сопротивления усталости используется предел выносливости и критерий степени поврежденности металла. Предел выносливости определяется в процессе усталостных испытаний, проведение которых требует значительных временных и материальных затрат. В этом смысле выгодно отличается от предела выносливости критерий поврежденности материала по изменению модуля упругости.

При повреждении детали происходит изменение характеристик материала: микротвердости, модуля нормальной упругости и др. Для определения предела выносливости детали после обработки можно воспользоваться следующим соотношением:

$$\frac{\sigma_{-1M}}{\sigma_{-1исх}} = f \left( \frac{E_{\text{обр}}}{E_{\text{исх}}} \right),$$

где  $\sigma_{-1M}$  и  $\sigma_{-1исх}$  – предел выносливости материала детали после обработки и в исходном состоянии (до обработки);  $E_{\text{обр}}$  и  $E_{\text{исх}}$  – модули упругости материала поверхностного слоя детали после обработки и в исходном состоянии.

В. Ф. Безъязычный, д-р техн. наук (Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П. А. Соловьева, e-mail: root@rgatu.ru)

**РАСЧЕТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ  
ОБРАБОТКИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ЗАДАННУЮ КОНТАКТНУЮ  
ЖЕСТКОСТЬ СОПРЯГАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ\****Изложена методика расчетного определения значения контактной жесткости контактируемых поверхностей с учетом технологических условий их обработки.***Ключевые слова:** контактная жесткость; режимы обработки.

V. F. Bezjazychnyi (Soloviev Rybinsk State Aviation Technical University)

**CALCULATION OF PROCESSING CONDITIONS TO PROVIDE THE  
REQUIRED CONTACT STIFFNESS OF AN INTERFACED SURFACES***The technique of calculation of the contact stiffness value of contacted surfaces taking into consideration processing conditions is offered.***Keywords:** Contact stiffness; Cutting modes.

Контактная жесткость контактируемых поверхностей деталей характеризует их взаимное сближение под действием нагрузки и оценивается по величине коэффициента контактной жесткости, а именно отношением приращения давления, действующего в заданном направлении, к соответствующему приращению взаимного перемещения контактирующих поверхностей в том же направлении.

Если сила  $P$  направлена по нормали к контактируемой поверхности, то контактная жесткость  $j$  называется нормальной контактной жесткостью. Величина, обратная коэффициенту нормальной контактной жесткости  $j$ , называется коэффициентом нормальной податливости  $\omega$ .

В том случае, когда между нагрузкой  $P$  и перемещением  $y$  существует линейная связь, можно записать:

$$j = \frac{P}{y} \text{ и } \omega = \frac{y}{P}.$$

При обработке сопрягаемых поверхностей лезвийным инструментом, наибольшее влияние на коэффициент податливости, а следовательно, и контактную жесткость, оказывают подача  $S$ , радиус при вершине резца в плане  $r$  и радиус округления режущей кромки  $\rho_1$  (рис. 1). Эти же параметры оказывают существенное влияние на шероховатость обработанной поверхности. Незначительное влияние на контактную жесткость обработанной поверхности оказывает глубина резания.

Формула для определения податливости в зависимости от параметров процесса резания имеет следующий вид:

$$\omega = \frac{35 \cdot 10^{-7} S^{1,1}}{r^{0,8} \rho_1^{0,66} t^{0,175}}, \text{ м/Н},$$

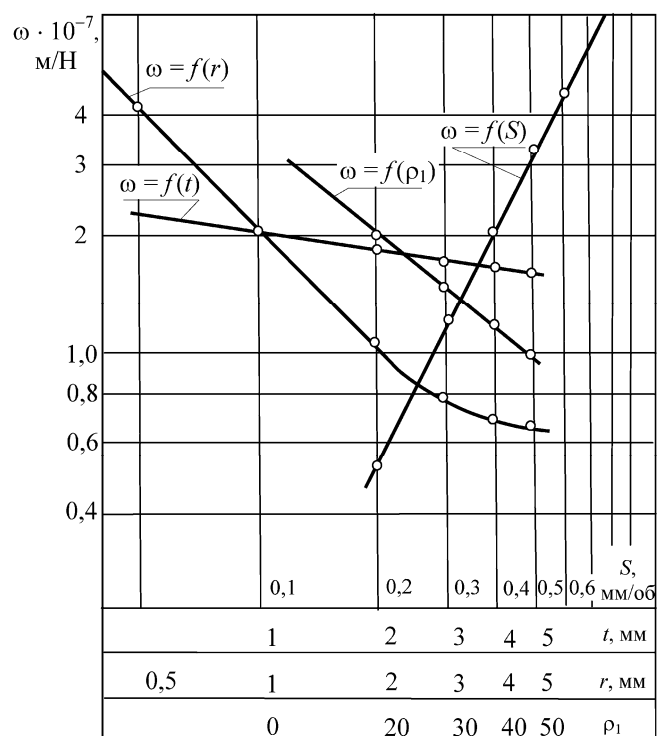
где приняты следующие размерности:  $S$ , мм,  $r$ , мм,  $\rho_1$ , мкм,  $t$ , мм.

Может быть также решена задача по определению параметров, характеризующих процесс резания по заданной величине податливости. Например:

\* Исследования выполнены в рамках базовой части государственного задания Минобрнауки России (НИР № 824 «Основы формирования допустимого уровня накопительной энергии в поверхностном слое деталей ответственных узлов машин, обеспечивающей требуемые эксплуатационные свойства»).

$$S = 0,09 \omega^{0,91} r^{0,73} \rho_1^{0,6} t^{0,1} 10^6, \text{ мм}.$$

Данная формула справедлива для деталей из никелевых сплавов ХН77ТЮР, ХН73МБТЮ, ХН56МВКЮ, сталей 1Х12Н2ВМФШ, 1Х17Н2, 2Х13, 1Х18Н10Т и титановых сплавов ВТ3-1, ВТ5-1, ВТ9.



**Рис. 1. Зависимость податливости от технологических условий обработки**