

УДК 621.357.74:76

DOI: 10.30987/1999-8775-2021-9-15-22

В.А. Скрябин

ФИНИШНАЯ АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА ТОНКОСТЕННЫХ ПЛАСТИН

Приведены особенности процесса финишной обработки тонкостенных пластин. Определена расчетная схема для кинематических параметров абразивной доводки тонкостенных легкодеформируемых пластин и математическая зависимость для расчета давления на притир планшайбы с обрабатываемыми деталями. Получен аналитической за-

висимости, устанавливающей взаимосвязь режимных параметров и условий процесса абразивной доводки с шероховатостью рабочей поверхности пластин.

Ключевые слова: абразивная доводка, тонкостенные пластины, шероховатость, режимные параметры.

V. A. Scyiabin

FINE GRIT TREATMENT OF RANGY PLATES

The features of the final machining of thin-walled plates are given. The calculation scheme for the kinematic parameters of abrasive finishing of thin-walled easily deformable plates and the mathematical dependence for calculating the pressure on the lapping faceplates with the processed parts are determined. The aim of the work is to obtain an analytical dependence that establishes the relationship between the operating parameters and the conditions of the abrasive finishing process with the roughness of the working surface of the plates. The task, which the article is devoted to solve is theoretical and experimental studies of the influence of technological modes and conditions of abrasive finishing of plates with complex relative movement of parts and lapping on the roughness of the treated surfaces, as well as in the development of a methodology for determining rational modes and conditions of surface treatment of thin-walled plates. Theoretical research was carried out on the basis of the main provi-

sions of mechanical engineering technology, grinding theory, theoretical mechanics, theory of elasticity and plasticity, probability theory and mathematical statistics. Experimental studies have been carried out according to standard methods in production and laboratory conditions using certified control and measuring equipment. The obtained data were processed using computer technology and presented in the form of empirical dependencies that are convenient for practical application.

The originality of the work consists in obtaining mathematical dependencies for calculating the kinematic parameters and parameters of the contact interaction of abrasive particles with the treated surfaces of the plates, which allow determining the rational values of the ratio of the speeds of movement of the plates and lapping.

Key words: abrasive finishing, thin-walled plates, roughness, operating parameters.

Введение

В современном высокотехнологичном машиностроительном и приборостроительном производствах проблемным вопросом является обеспечение повышенных требований к качественным показателям (шероховатости) поверхностей обрабатываемых деталей. Для получения заданной шероховатости используются различные операции финишной абразивной обработки. К ним относятся чистовое и тонкое шлифование, супер-финиширование и др. Однако, как показали особенности изготовления на производстве тонкостенных деталей типа пластин, применение выше-

указанных методов финишной абразивной обработки ввиду достаточно больших значений давления абразивных инструментов на поверхности тонкостенных легкодеформируемых деталей носит проблемный характер в плане получения заданных параметров качественных характеристик поверхностей. Одной из актуальных задач является получение качественных показателей поверхностей тонкостенных деталей (рис.1) путем применения высокотехнологичной финишной обработки, одной из которых является абразивная доводка (притирка). На стабильность работы различных

измерительных систем доминирующее влияние оказывают точностные и эксплуатационные характеристики преобразователей (датчиков), одной из деталей которых являются тонкостенные пластины круглой формы [1-3].

Для изготовления чувствительных элементов датчиков давления широко применяется труднообрабатываемый сплав 36НХТЮ (43,61...48,8 % железа, 37,0 % никеля, 11,5...13,0 % хрома, 2,7...3,2 % титана и 0,9...1,2 % алюминия, до 0,05 %

углерода, 0,3...0,7 % кремния, 0,8...1,2 % марганца, до 0,02 % серы, до 0,02 % фосфора). Этот сплав является немагнитным материалом повышенной прочности с высоким модулем нормальной упругости и низким значением температурного коэффициента модуля упругости. Сплав обладает высокой вязкостью и сохраняет постоянство упругих свойств до температуры +250 °С. Коррозионная устойчивость этого сплава достаточно высока.

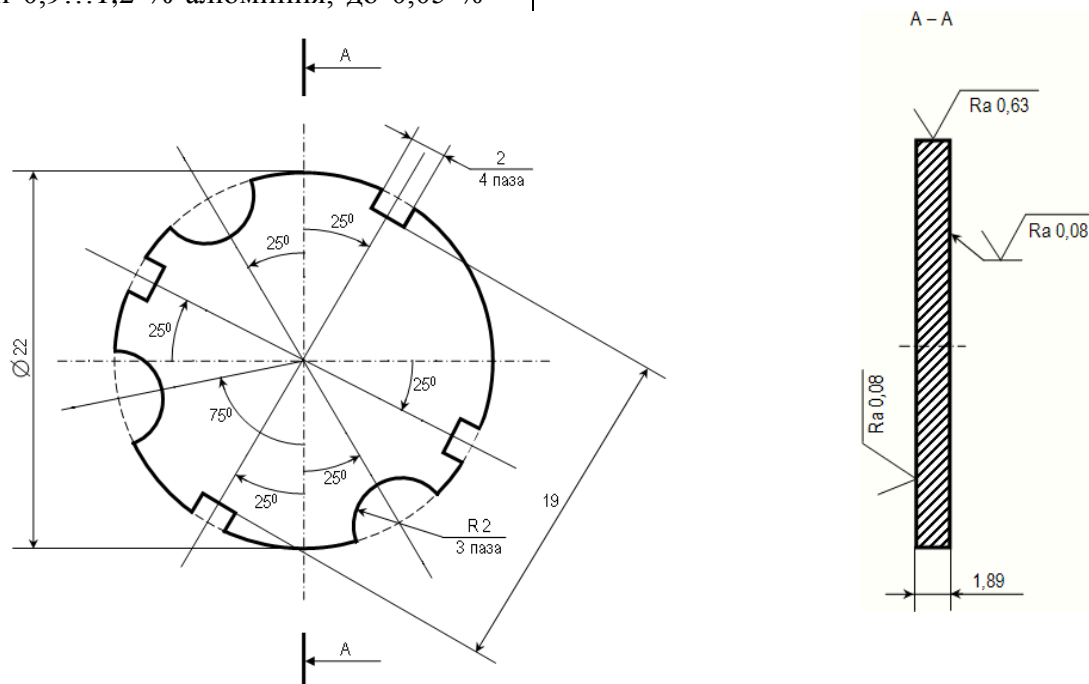


Рис. 1. Пластина датчика давления

Материалы и методика исследований

Пригодность пластин чувствительного элемента для формирования электродов преобразователя давления определяется следующими требованиями:

- поверхность тонкостенной пластины, являющейся чувствительным элементом датчика давления, должна быть свободной от дефектов и загрязнений;

- шероховатость поверхности пластины по критерию R_a не более $R_a = 0,08$ мкм.

Метод абразивной доводки тонкостенных легкодеформируемых пластин незакрепленным абразивом реализует эту сложную задачу. При финишной обработке наиболее распространены шлифовальные материалы: электрокорунд нормальный и

белый марок 12А, 14А, 25А зернистостью F150...F220, которые предпочтительны для абразивной доводки тонкостенных деталей. В статье исследуются особенности кинематики процесса доводки при контактном взаимодействии абразивных частиц с обрабатываемыми поверхностями деталей.

При финишной обработке [1-4] пластины и чугунный притир совершают соответственно вращательное и возвратно-поступательное. При этом благодаря более развитой сетке рисок за счет комбинированного движения пластин и притира, снижается параметр шероховатости R_a .

Наиболее важными показателями процесса абразивной доводки (притирки)

пластин, являются следующие: давление, зернистость абразивной среды, время, скорость притирки, а также состав смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС). Достижение заданной

шероховатости тонкостенных пластин может быть обеспечено при эффективной реализации процесса абразивной доводки.

Результаты исследования и обсуждение полученных результатов

Перед абразивной доводкой пластины 4 закрепляются с помощью специального клея (шеллак) на планшайбу 3, вращающуюся с постоянной угловой скоростью ω и контактирующую с притиром 1, осуществляющим возвратно-поступательное движение со скоростью V_{π}

относительно планшайбы. На рабочую поверхность притира подается абразивная суспензия 2 посредством специального дозатора 7. Вертикальная подача планшайбы 3 осуществляется специальным механизмом [2-5] (рис. 2).

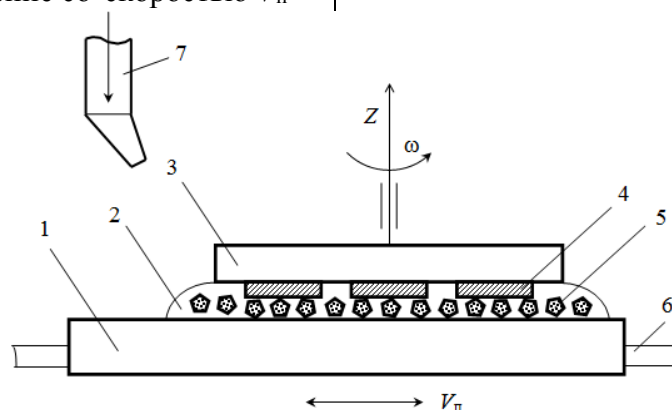


Рис. 2. Схема процесса абразивной доводки с дозированной подачей суспензии: 1 – подвижный притир; 2 – абразивная суспензия; 3 – планшайба; 4 – обрабатываемые детали; 5 – абразивные частицы; 6 – направляющие для движения притира; 7 – специальный дозатор

Перемещение притира относительно пластин осуществляется при его возвратно-поступательном движении (рис. 3) вместе с центром A планшайбы (переносное

движение) и вместе с планшайбой вращением вокруг полюса A (относительное движение).

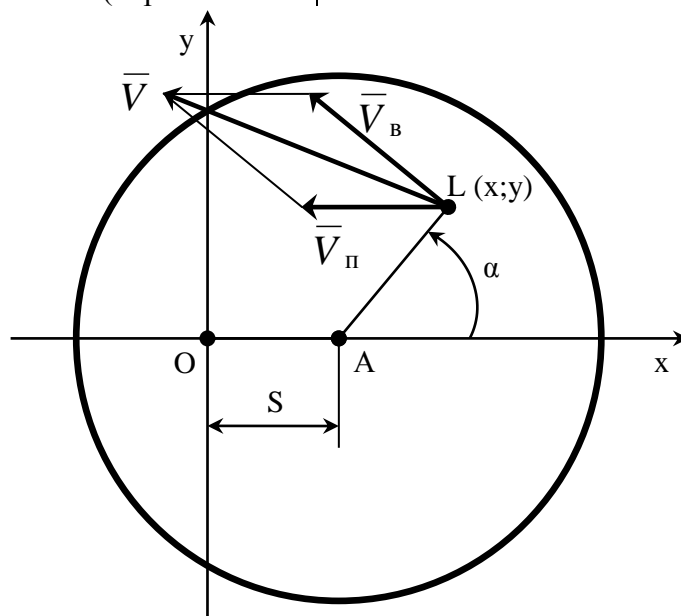


Рис. 3. Расчетная схема для определения кинематических параметров при обработке пластин

Кинематические параметры абразивной доводки пластин задаются координатным способом [6, 7]:

$$\begin{cases} x_L = S + r \cos \alpha = S + r \cos(\omega t); \\ y_L = r \sin \alpha = r \sin(\omega t), \end{cases} \quad (1)$$

где r – радиус окружности, на которой располагаются пластины, центр которых совпадает с точкой L ; ω – угловая скорость вращения планшайбы с деталями.

При этом начало отсчета взято на оси планшайбы в точке A .

При определении траектории перемещения пластин исключим время t из уравнений (1). Выполнив соответствующие преобразования, имеем:

$$r^2 = (x_L - S)^2 + y_L^2. \quad (2)$$

Определяем скорость пластин в проекциях на координатные оси x и y :

$$\begin{cases} V_{Lx} = \dot{x} = \dot{S} - r \sin(\omega t) = V_{\Pi} - r \omega \sin(\omega t); \\ V_{Ly} = \dot{y} = r \omega \cos(\omega t), \end{cases} \quad (3)$$

где V_{Π} – скорость поступательного движения притира относительно планшайбы с деталями, вращающимися со скоростью $V_B = \omega r$.

Скорость точки L определим по зависимости (4):

$$V_L = \sqrt{V_{Lx}^2 + V_{Ly}^2}. \quad (4)$$

Полные ускорения на оси координат находим как:

$$\begin{cases} a_{Lx} = \ddot{x} = -r \omega^2 \cos(\omega t); \\ a_{Ly} = \ddot{y} = -r \omega^2 \sin(\omega t). \end{cases} \quad (5)$$

Суммарное ускорение определяется следующим образом:

$$a_L = \sqrt{a_{Lx}^2 + a_{Ly}^2} = r \omega^2. \quad (6)$$

Касательное ускорение a_L^{τ} определяется по следующей зависимости:

$$a_L^{\tau} = \frac{dV_L}{dt} = \frac{d\sqrt{V_{Lx}^2 + V_{Ly}^2}}{dt} = \frac{V_{Lx}a_{Lx} + V_{Ly}a_{Ly}}{V_L}. \quad (7)$$

С учетом формул (1), (4) и (7), касательное ускорение определяем следующим образом:

$$a_L^{\tau} = \frac{(V_L - r \omega \sin(\omega t)) r \omega^2 \cos(\omega t) - \omega^3 r^2 \cos(\omega t) \sin(\omega t)}{\sqrt{V_L^2 - 2 r \omega V_L \sin(\omega t) + r^2 \omega^2}}. \quad (8)$$

С помощью зависимостей (6) и (7) можно найти нормальную составляющую ускорения при движении пластин:

$$a_L^n = \sqrt{a_L^2 - (a_L^{\tau})^2}, \quad (9)$$

Радиус кривизны траектории ρ при движении деталей определяется как:

$$\rho = \frac{V^2}{a_L^n}. \quad (10)$$

Задаваясь значениями параметров V_{Π} , V_B , r , ω , t и подставляя их в формулы (4), (9) и (10), определяем результирующую

скорость перемещения пластин, а также нормальную составляющую ускорения при движении пластин. Это позволит в дальнейшем оценить кривизну траекторий относительного перемещения пластин и притира в процессе абразивной доводки с целью формирования на поверхностях деталей однородных неровностей профиля и обеспечения требуемых отклонений формы и расположения.

Соотношения поступательных и вращательных и скоростей пластин и

притира, полученные из ранее проведенных исследований, показывают, что минимальный диапазон его изменения составляет 0,6...0,7.

Определение скорости V_L при заданных значениях проводилось при следующих предварительных расчетах.

Скорость возвратно-поступательного движения притира V_{π} :

$$V_{\pi} = 0,6V_v, \quad (11)$$

где $V_v = \omega r$ – скорость вращательного движения планшайбы.

Здесь $r = 130 \text{ мм}$ – величина радиуса планшайбы, на котором располагаются пластины; $\omega = 4 \text{ рад/с}$ – угловая скорость вращения планшайбы с деталями;

$$V_v = 4 \cdot 0,13 = 0,52 \text{ м/с}.$$

Из зависимости (11) следует:

$$V_{\pi} = 0,6 \cdot 0,52 = 0,31 \text{ м/с}.$$

Для определения V_L имеем:

$V_{\pi} = 0,31 \text{ м/с}$ – скорость возвратно-поступательного движения притира;

$r = 130 \text{ мм}$ – величина радиуса расположения пластин;

$\omega = 4 \text{ рад/с}$ – угловая скорость вращения планшайбы с пластинами.

По экспериментальным данным при $t = 1,5 \text{ с}$ – время одного оборота планшайбы с пластиной вокруг своей оси.

При расчете V_L с учетом зависимости (4) получим формулу:

$$V_L = \sqrt{V_{\pi}^2 - r^2 \omega^2 - 2r\omega \sin(\omega t)}. \quad (12)$$

$$V_L = \sqrt{0,31^2 - 0,13^2 \cdot 4^2 - 2 \cdot 0,13 \cdot 4 \sin(4 \cdot 1,5)} = 0,34 \text{ м/с}.$$

При рациональном выборе соотношений скоростей поступательного V_{π} и вращательного V_v движений можно получить шероховатость поверхностей пластин $R_a = 0,1 \text{ мкм}$, отклонение от плоскостности $0,01 \text{ мм}$ и отклонение от параллельности $0,01 \text{ мм}$ при исходном диапазоне параметров шероховатости $R_a = 0,2 \dots 0,32 \text{ мкм}$ после чистового шлифования [6-8].

Давление пластин 4 на притир 1 определяется в соответствии с работой [5] (см. рис. 2):

$$P = \frac{P_x}{F} = \frac{N16\pi R_a \rho \sigma_v}{F}, \quad (13)$$

где P_x – составляющая силы резания; F – площадь контакта планшайбы с обрабатываемыми пластинами и рабочей поверхностью притира; N – количество абразивных частиц в зоне контакта планшайбы с деталями и притиром; ρ – радиус округления абразивной частицы; R_a – шероховатость обрабатываемой поверхности; σ_v – временное сопротивление на растяжение обрабатываемого материала пластины.

Для большого количества материалов деталей можно прогнозировать давление пластин на притир P . Величина R_a рассчитывается по эмпирической зависимости, созданной в результате проведенных экспериментов

$$R_a = C_{R_a} P_{\gamma}^{\gamma} HB^{-m} d, \quad (14)$$

где C_{R_a} – коэффициент, зависящий от свойств обрабатываемого материала, абразива и других условий обработки; P_{γ} – давление на обрабатываемую поверхность, полученное из ранее проведенных экспериментов; d – средний диаметр основной фракции абразивного микропорошка; R_a – параметр шероховатости поверхности детали; HB – твердость обрабатываемого материала по Бринеллю; $m = 0,8$, $\gamma = 0,8$ – степенные коэффициенты.

Для вычисления параметров R_a и P_{γ} была разработана новая вычислительная проблемно-ориентированная программа на основе программных продуктов *Delphi* и *Turbo Paskal*. Расчетное окно этой программы приведено на рис.4 [5-8].

Параметр	Значение
Коэффициент CR_a	920
Давление на обрабатываемую поверхность P , Па	84000
Коэффициент γ	0.8
Твердость HV , Па	3500000000
Коэффициент m	0.8
Средний диаметр основной фракции абразивного микропорошка d , м	0.000005
Количество абразивных частиц в зоне контакта N , шт	140
Радиус абразивной частицы r , м	0.0000025
Временное сопротивление на растяжение S_b , Па	1250000000
Площадь контакта F , м ²	0.00000262

Расчёт шероховатости обработанной поверхности R_a	Расчёт давления при доводке P
0.0114317631045532	0.0959532827892757

Рис. 4. Расчетное окно программы

Доводка является технологическим процессом финишной обработки высокоточных деталей, которая выполняется после чистовой абразивной обработки, и предназначена она, прежде всего, для получения малой величины параметра шероховатости поверхности ($R_a = 0,1$ мкм). При доводке одновременно реализуется ряд механических и химических явлений, позволяющих с большой производительностью получить заданные параметры качества обработанной поверхности. Производительность и качество доводки зависят от отношения скоростей поступательного $V_{\text{п}}$ и вращательного движений $V_{\text{в}}$, определяющих угол сетки штрихов, которые образуются на обрабатываемой поверхности пластин. Наиболее высокая производительность доводки обеспечивается при соотношении скоростей планшайбы и притира 0,6...1,0. После расчетов скоростей вращательного движения планшайбы с деталями и поступательного движения притира по зависимостям (3) и (4) для различных условий обработки и экспериментальной проверки режимов притирки при обработке деталей на вертикально-притирочном станке, значение $V_{\text{в}}$, рекомендовано в диапазоне 0,2...0,5 м/с при $\omega = 4$ рад/с, а $V_{\text{п}}$ – в диапазоне 0,2...0,6 м/с.

Эффективность доводки в большей степени определяется давлением. Поэтому наиболее оптимальным является давление [5,7,8,9]:

- в пределах 0,1...0,2 МПа при предварительных операциях;
- в пределах 0,05...0,1 МПа и ниже на окончательных операциях.

Установлено, что рациональная скорость рабочего движения:

- на предварительных операциях 0,66...2 м/с;
- на окончательных операциях около 0,25...0,5 м/с и ниже.

Таким образом, в процессе обработки осуществляется сложное движение, состоящее из вращения планшайбы с пластинами и возвратно-поступательное движения притира. При этом абразивные зерна работают большим числом своих ребер и граней, повышается стойкость притира при одновременном повышении производительности обработки, а также благодаря более развитой сетке рисок, понижается параметр шероховатости обработанной поверхности. Поверхности пластин после доводки отличаются высокой износостойкостью и в меньшей степени подвержены коррозии.

Материалы, из которых изготавливаются притиры (серый чугун марки СЧ-21), мягче обрабатываемого материала для того, чтобы абразивный материал (напри-

мер, абразивный микропорошок электрокорунд белый зернистостью $F150...F220$) вдавливался в поверхность притира, а не пластин, а формы притиров должны соответствовать формам обрабатываемых пластин.

В качестве рабочих сред используются микропорошки на основе карбида бора, карбида кремния, электрокорунда нормального и белого.

Отличительными особенностями микропорошка электрокорунда белого 25А зернистостью $F150...F220$ являются:

- микротвердость 19,6...20,9 ГПа;
- плотность $3,95 \pm 0,05$ г/см³;
- теплостойкость 1700...1800 °С.

Корунд Al_2O_3 (98...99 %) и небольшое количество примесей (1...2 %) в виде высокоглиноземистого алюмината натрия и других минералов являются составляющими электрокорунда белого 25А. По химическому и физическому составу белый электрокорунд является более однородным, чем нормальный. Зёрна белого элек-

трокорунда отличаются высокой прочностью и острыми кромками, они легко внедряются в твердые, прочные материалы. Отличительными особенностями данного абразивного материала являются:

- однородность по физическому и химическому составу;
- высокие режущие свойства и повышенная стойкость по сравнению с карбидом кремния;
- наиболее дешевый и распространенный.

Для доводки пластин из сплава 36НХТЮ наиболее эффективными являются суспензии на основе воды, различных масел, смесей с олеиновой, стеариновой кислотами и др. (Na_3PO_4 – 0,4...0,7 %, $NaNO_2$ – 0,15...0,25 %, H_2O – 97...99 %; стеарин – 1...3 %, оливковое масло – 96...98 %; керосин – 75...80 %, масло вазелиновое – 6...9 %, стеарин – 9...14 %, кислота олеиновая – 2,5...4 %; АКВОЛ-11 – до 3 %, H_2O – до 98 %).

Заключение

В процессе абразивной доводки осуществляется сложное движение, состоящее из вращения планшайбы с пластинами и возвратно-поступательное движения притира. При этом абразивные зерна работают большим числом своих ребер и граней, повышается стойкость притира при одновременном повышении производительности обработки, а также благодаря более развитой сетке рисков, понижается параметр шероховатости обработанной поверхности. Поверхности пластин после доводки отличались высокой износостойкостью и были в меньшей степени подвержены коррозии. Установлено, что параметры шероховатости поверхности определяются в основном величиной внешнего давления на шлифовальный материал на обрабатываемые поверхности деталей. После проведения экспериментов при чистой абразивной доводке на плоскодоводочном станке поверхностей тонкостенных

пластин датчиков при давлении на притир с пластинами при давлении $P = 0,084$ МПа, эффективной результирующей скорости рабочего движения $V = 0,4$ м/с, при абразивном наполнителе марки 25А зернистостью $F 150... F 220$, рабочей жидкости АКВОЛ-11–до 3 %, H_2O – до 98 % параметр шероховатости поверхности R_a составил 0,1 мкм, отклонение от плоскостности 0,01 мм и отклонение от параллельности 0,01 мм при исходных параметрах шероховатости $R_a = 0,2...0,32$ мкм. Для прогнозирования параметров R_a и P была разработана вычислительная проблемно-ориентированная программа, что позволило обеспечить заданную шероховатость рабочей поверхности тонкостенных пластин и исключить прижоги их поверхностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зинкин, С. В. Обеспечение качества поверхностей тонкостенных пластин путем абразивной

доводки и электрохимико-механического полирования: дис. на соискание ученой степени

- канд. техн. наук / Зинкин Сергей Владимирович. - Пенза, 2012. - 147с. - Библиогр.: С.118-128.
2. **Зинкин, С. В.** Обеспечение качества поверхностей тонкостенных пластин путем абразивной доводки и электрохимико-механического полирования: автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук / Зинкин Сергей Владимирович. - Пенза: 2012. - 19с.
 3. **Зинкин, С. В.** Емкостные датчики давления для охранных систем мониторинга и прогнозирования / С. В. Зинкин // Международный научно-технический журнал. - 2019. - № 4(70). - С. 114-117.
 4. **Орлов, П. Н.** Технологическое обеспечение качества деталей методами доводки / П. Н. Орлов. - М.: Машиностроение, 1988. - 388 с.
 5. **Скрябин, В. А.** Математические модели технологических параметров процесса абразивной доводки. / В. А. Скрябин, А. Г. Схиртладзе, С. В. Зинкин // Технология металлов. - 2013. - №12. - С.39-42.
 6. **Сейнов, С. В.** Технологии и оборудование для притирки уплотнений арматуры / С. В. Сейнов // Ремонт, восстановление, модернизация. - 2002. - №2. - С. 8 - 13.
 7. **Sarda, S. P.** Influence des contraintes et de la pression de fluide sur le coulement dans les rocked fissurees / S. P. Sarda, P. Le Tirant, G. Baron // Adoanses of Rock Mechanics, Washington. - 2004. - vol.2. - part A. - Pp.667-673.
 8. **Claser, H.** Eine Methode der näherungswerte für Metaldichtungen der ND-Technik anhand mechanischen Ersatzmodelle-4 / H. Claser, V. Jakob. - Dresden, Jnt. Dichtungstag, 2004. - Pp. 420-444.
 9. **Карасев, Н. Я.** Абразивное воздействие обрабатывающей среды на поверхности деталей/ Н. Я. Карасев, А. Г. Схиртладзе // Приводная техника. - 2013. - №2. - С.35-41.
 1. **Zinkin, S. V.** Ensuring the quality of the surfaces of thin-walled plates by abrasive finishing and electrochemical-mechanical polishing: dis. for the degree of Candidate of Technical Sciences / Zinkin Sergey Vladimirovich. - Penza, 2012. - 147s. - Bibliogr.: pp. 118-128.
 2. **Zinkin, S. V.** Ensuring the quality of the surfaces of thin-walled plates by abrasive finishing and electrochemical-mechanical polishing: abstract for the degree of Candidate of Technical Sciences / Zinkin Sergey Vladimirovich. - Penza: 2012 - 19p.
 3. **Zenkin, S. V.** Capacitive pressure sensors for security monitoring and forecasting systems / S. V. Zinkin // International Scientific and Technical Journal. - 2019. - № 4(70). - pp. 114-117.
 4. **Orlov, P. N.** Technological quality assurance of parts by finishing methods / P. N. Orlov. - M.: Mashinostroenie, 1988. - 388 p.
 5. **Scriabin, V. A.** Mathematical models of technological parameters of the abrasive finishing process. / V. A. Scriabin, A. G. Skhirtladze, S. V. Zinkin // Technology of metals. - 2013. - No. 12. - p. 39-42.
 6. **Seinov, S. V.** Technologies and equipment for lapping valve seals / S. V. Seinov // Repair, restoration, modernization. - 2002. - No. 2. - p. 8-13.
 7. **Sarda, S. P.** Influence des contraintes et de la pression de fluide sur le coulement dans les rocked fissurees / S. P. Sarda, P. Le Tirant, G. Baron // Adoanses of Rock Mechanics, Washington. - 2004. - vol.2. - part A. - Pp.667-673.
 8. **Claser, H.** Eine Methode der näherungswerte für Metaldichtungen der ND-Technik anhand mechanischen Ersatzmodelle-4 / H. Claser, V. Jakob. - Dresden, Jnt. Dichtungstag, 2004. - Pp. 420-444.
 9. **Karasev, N. Ya.** Abrasive impact of the processing medium on the surface of parts/ N. Ya. Karasev, A. G. Skhirtladze // Drive technology. - 2013. - No. 2. - p. 35-41.

Ссылка для цитирования:

Скрябин, В.А. Финишная абразивная обработка тонкостенных пластин / В.А. Скрябин // Вестник Брянского государственного технического университета. - 2021. - № 7. - С. 15 - 22. DOI: 10.30987/1999-8775-2021-9-15-22.

Статья поступила в редакцию 21.04.21.

Рецензент: д.т.н., профессор Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета,

Мокрицкий Б.Я.,

член редсовета журнала «Вестник БГТУ».

Статья принята к публикации 26.08.21.

Сведения об авторе:

Скрябин Владимир Александрович, д.т.н., профессор Пензенского государственного университета, e-mail: vs_51@list.ru.

Vladimir Alexandrovich Scriabin, Doctor of Technical Sciences, Professor of Penza State University, e-mail: vs_51@list.ru.