

UDC 621.9.022.01

Veremey G., Sapon S.

Chernihiv National University of Technology / Ukraine

AN EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE ACCURACY OF OVERHAULED VALVE SEATS WITH THE VARIABLE CUTTING CONDITIONS

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ВОССТАНОВЛИВАЕМЫХ СЕДЕЛ КЛАПАНОВ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ

Abstract: One of the most important quality indicators in the valve seats overhauled process of the timing gear in the internal combustion engine is a parameter of deviation from roundness which is formed during their machining in a car repairing industry. In this work variation influence of the process conditions on the geometric precision valve seats during their formation was experimentally researched. According to the results of the investigation the rational cutting conditions were defined, that allows to provide a minimal deviation from the roundness of the valve seats.

Keywords: machining accuracy, overhaul, deviation from roundness, formation process, cutting conditions.

INTRODUCTION

The efficiency increasing of the valve seats overhauled process is dictated by the need to provide the accuracy engineering parameters of processing by precision increasing of formation in a car repairing industry. The consummation of the prescribed precision parameters is an actual problem in the metal-cutting sphere and especially in case of domestic companies, where the usage of the main production technological equipment for the goals is economically inexpedient

A perspective direction to increase the precision of the geometrical shape is to determine the necessary cutting conditions within processing of the valve seats on the new car repairing equipment.

PROBLEM STATEMENT

Accumulated experience and implemented researches in the sphere of the overhauled repairs for timing gear (TG) parts in the internal combustion engine (ICE) show that an existing car repairing equipment doesn't allow to provide the constancy of required accuracy parameters within machining valve seats [5]. The reason to this is, mainly, unstable cutting forces and rigidity absence of the machining system within the hand devices applying and metal-cutting portable equipment.

The solution to this problem was considered in the works [6, 8], where the mathematical modeling results of the overhauled valve seats process were represented and an ability to provide the required parameters of accuracy with the oriented slab – cutting tool (CT) by copy method of boring out was

Аннотация: Одним из наиболее важных показателей качества в восстановительном процессе седел клапанов газораспределительного механизма в двигателе внутреннего сгорания является параметр отклонения от круглости седел, формируемый при их обработке в авторемонтном производстве. В работе экспериментально исследовано влияние изменения режимов обработки на геометрическую точность седел клапанов в процессе их формообразования. В результате исследования выявлены рациональные режимы резания, позволяющие обеспечить минимальное отклонение от круглости седел клапанов при их восстановлении.

Ключевые слова: точность обработки, восстановительный ремонт, отклонение от круглости, процесс формообразования, режимы резания.

ВВЕДЕНИЕ

Повышения эффективности процесса восстановления седел клапанов продиктовано необходимостью обеспечения конструкторских параметров качества обработки за счёт увеличения точности формообразования в авторемонтном производстве. Достижение заданных параметров точности поверхностей седла клапана является актуальной задачей в области металлообработки и, особенно, в условиях отечественных авторемонтных предприятий, где использование технологического оборудования основного производства для поставленных целей является экономически нецелесообразным. Перспективным направлением повышения точности геометрической формы является определение необходимых режимов резания при обработке поверхностей седла клапана на новом авторемонтном оборудовании.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Накопленный опыт и проведённые исследования в области восстановительных ремонтов деталей газораспределительного механизма (ГРМ) в двигателе внутреннего сгорания (ДВС) показывают, что существующее авторемонтное оборудование не позволяет обеспечить постоянно требуемых параметров точности при обработке седел клапанов [5]. Причинами этого являются, в основном, нестабильность усилий резания и недостаточная жёсткость обрабатываемой системы при применении ручных приспособлений и режущего оборудования портативного типа.

Решение данной проблемы рассмотрено в работах [6, 8], где представлены результаты математического моделирования процесса восстановления

shown. In the work [4] the problem of optimization was solved in the choice of the rational conditions for the valve seats machining according to the results of the flaw detection process. In the work [3], according to the results of the mathematical modeling experiment the theoretical dependences of the investigated quality parameters on the varying conditions of the valve seats machining were obtained.

To identify received theoretical regularities in this work the experimental research of the influence of cutting conditions on the precision parameters in the forming process of the valve seat surfaces with the usage of modern measuring facilities was conducted.

MAIN ARTICLE

One of the main TR function in the ICE is the combustion chamber pressurization, which implemented by contact of the conical surfaces of the seat and its valve. Quality of the pressurization is defined by quality parameters of the contacting surfaces in the conjugation bush-valve-seat (Fig. 1, a). Within valve seats processing the quality of their working surfaces is imposed high requirements of precision, one of them is deviation from roundness Δr for D_2 diameter surface (Fig. 1, b).

сёдел клапанов и показаны возможности обеспечения требуемых параметров точности ориентируемым инструментом методом копирования при растачивании. В работе [4] решены задачи оптимизации при выборе рациональных режимов обработки сёдел клапанов по результатам процесса их дефектации. В работе [3] по результатам математического моделирования эксперимента получены теоретические зависимости исследуемых параметров качества от варьируемых режимов обработки сёдел клапанов.

Для подтверждения полученных теоретических закономерностей в данной работе с использованием современных средств измерения проведено экспериментальное исследование влияния режимов резания на параметры точности в процессе формообразования поверхностей седла клапана.

ОСНОВНОЙ ТЕКСТ СТАТЬИ

Одной из основных функций ГРМ в ДВС является герметизация камеры сгорания, которая осуществляется путём контакта конических поверхностей седла и его клапана и, качество которой определяется параметрами качества контактирующих поверхностей в сопряжении втулка-клапан-седло (рис. 1, а). При обработке сёдел клапанов к качеству их рабочих поверхностей предъявляются высокие требования по точности, одним из которых является отклонение от круглости Δr поверхности диаметром D_2 (рис. 1, б).

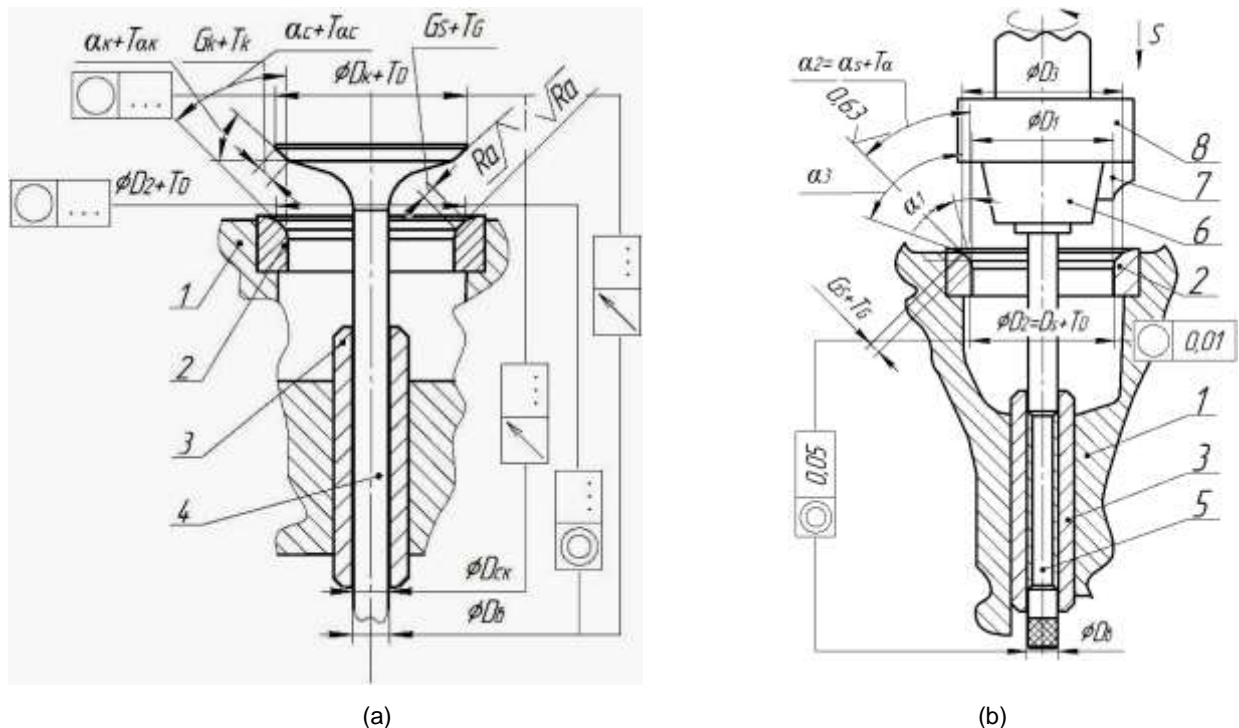


Fig. 1 - The quality parameters of the contacting surfaces in the conjugation bush-valve-seat (a), the scheme of the valve seat machining (b) / Параметры качества сопряжения поверхностей втулка-клапан-седло (а), схема обработки седла клапана (б): 1 – ICE body / блок ДВС; 2 – valve seat / седло клапана; 3 – valve bush / втулка клапана; 4 – valve / клапан; 5 – pilot / пилот; 6 – spindle / шпиндель; 7 – СТ / РИ; 8 – test element / контрольный элемент

According to the results of the flaw detection process of the worn valve seats (based on the interpolation model) in the work [8] and optimization model (depending on the capacity of cutting

По результатам процесса дефектации изношенных сёдел (на основании интерполяционной модели) в работе [8] и оптимизационной модели (в зависимости от объёмов срезаемого материала) [4]

material) [4] for the cutting conditions (n - rotation frequency, min^{-1} ; S - feed per one spindle revolution, mm/rev ; t - cutting depth, mm) the next ranges were set up: $200 \leq n \leq 600$; $0,02 \leq S \leq 0,15$; $0,05 \leq t \leq 1$.

In the work [3], according to the results of the mathematical planning experiment the dependence of the deviation from roundness Δr on the cutting conditions n and S of the valve seats surfaces was obtained (Fig. 2). For an experimental confirmation of the adequacy of the defined dependence the valve seat processing complex and modern measuring hardware was used (Fig. 3).

для режимов обработки седел клапанов (n - частота вращения шпинделя, мин^{-1} ; S - подача на один оборот шпинделя, мм/об ; t - глубина резания, мм) были установлены следующие диапазоны: $200 \leq n \leq 600$; $0,02 \leq S \leq 0,15$; $0,05 \leq t \leq 1$.

В работе [3] по результатам математического планирования эксперимента получена зависимость отклонения от округлости Δr обрабатываемых поверхностей седел клапанов от режимов резания n и S (рис. 2). Для экспериментального подтверждения адекватности установленной зависимости использован комплекс для обработки седел клапанов и современная измерительная аппаратура (рис. 3).

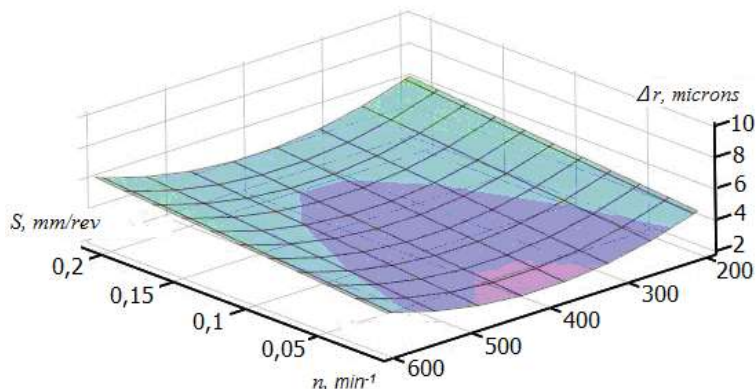


Fig. 2 - Theoretical dependence of the shape deviation Δr of the processed surface from the roundness on the cutting conditions n and S / Теоретическая зависимость отклонения формы Δr обработанной поверхности от округлости от режимов резания n и S



Fig. 3 - General view of the valve seat processing complex and hardware for spindle radial displacement control / Общий вид комплекса для обработки седел клапанов и аппаратуры для контроля радиальных перемещений шпинделя: 1 - test element / контрольный элемент; 2 - laser sensors / лазерные датчики; 3 - computer / компьютер; 4 - spindle of the machining appliance / шпиндель обрабатывающего приспособления; 5 - electric frequency variator / электрический вариатор частот; 6 - electronic tachometer / электронный тахометр; 7 - valve seat / седло клапана; 8 - ICE body / блок ДВС

An experimental research of the different cutting conditions effect on the precision of the valve seat forming was carried out by controlling the magnitude of the spindle displacements in the plane orthogonal to the axis of its rotation. This investigation was implemented on the bases of the designed technological equipment for valve seat processing (Fig. 3) [3].

In this test hardware the complex for spindle radial displacement control was used (Fig. 4, a, b): two non-contact laser sensors, a digital oscilloscope, a laptop with the software [7]. Scheme of the spindle displacement determination is shown in Fig. 4, c.

Экспериментальное исследование влияния различных режимов резания на точность формообразования седла клапана осуществлялось путём контроля величины перемещений шпинделя в ортогональной плоскости к оси его вращения. Исследование проводилось на базе разработанного технологического оборудования для обработки седел клапанов (рис. 3) [3]. При этом использовался комплекс контрольной аппаратуры (рис. 4, а, б): два бесконтактных лазерных датчика, цифровой осциллограф, ноутбук с программным обеспечением [7]. Схема определения перемещений шпинделя представлена на рис. 4, с.

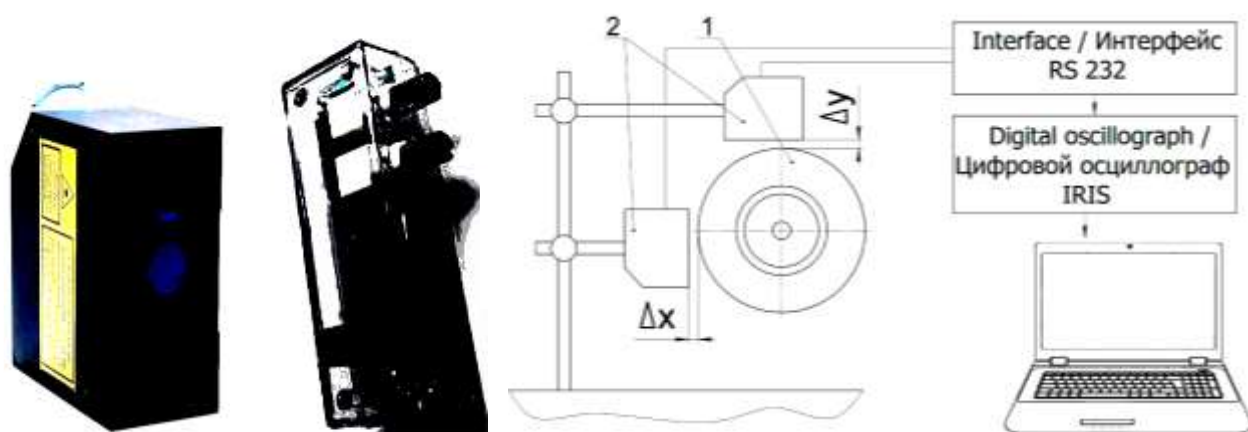


Fig. 4 - General view of the: laser triangulation sensor (a); digital oscilloscope (b) and structural scheme of the spindle displacement determination (c) / Общий вид: лазерных триангуляционных датчиков (а); цифрового осциллографа (b) и структурная схема определения перемещений шпинделя (с)

This complex allows carrying out the measurement of radial spindle displacements Δx and Δy in two mutually perpendicular planes to its axis of rotation. This makes it possible to determine their maximum values within variable cutting conditions and thereby to set up rational values of S and n . Varying the spindle rotation and feed was implemented with a certain step with the electric frequency variator, and indicator devices. During the experiment carrying out on the isolated rigid rack two contactless triangulation, laser sensors were installed of a model RF603.2-10/ 2-485-U-IN-AL-CG, spaced 90° angle each to other and directed to the outer cylindrical surface of a precision spindle element (deviation of the surface from the roundness is 1 micron). The working range of the sensor is 2 mm, the linearity is $\pm 0,002$ mm, resolution ability is 0,2 microns, the maximum sampling rate of 9.4 kHz [7]. Registration and display of the signals from the laser sensors was implemented with the IRIS digital oscilloscope via an RS 232 interface [7].

Implementation of the planned research was carried out by circuit (Fig. 5) and consisted of 20 runs (4 series of 5 experiments with sequential spindle rotation of 100 min^{-1} and feed of $0,04 \text{ mm/rev}$).

Данный комплекс позволяет осуществлять измерение радиальных перемещений Δx и Δy шпинделя в двух взаимно перпендикулярных плоскостях к оси его вращения. Это даёт возможность определить их максимальные значения, при различных режимах обработки седел и, тем самым, установить рациональные значения n и S . Варьирование частоты вращения и подачи шпинделя с определённым шагом осуществлялось с помощью частотного электрического вариатора и индикаторных приспособлений. При проведении эксперимента на жёсткой изолированной стойке устанавливались два бесконтактных, триангуляционных, лазерных датчика типа РФ603.2-10 / 2-485-U-IN-AL-CG, расположенных друг к другу под углом 90° и направленных к внешней цилиндрической поверхности прецизионного элемента шпинделя (отклонение от круглости 1 мкм). Рабочий диапазон датчиков составляет 2 мм, линейность $\pm 0,002$ мм, разрешающая способность 0,2 мкм, максимальная частота дискретизации 9,4 кГц [7]. Регистрация и отображение сигналов с лазерных датчиков реализовывалась с помощью цифрового осциллографа IRIS через интерфейс RS 232 [7].

Проведение запланированного исследования осуществлялось по схеме (рис. 5) и состояло из 20-ти опытов (4 серии по 5 экспериментов с последовательным изменением частоты вращения шпинделя на 100 мин^{-1} и подачи на $0,04 \text{ мм/об}$).

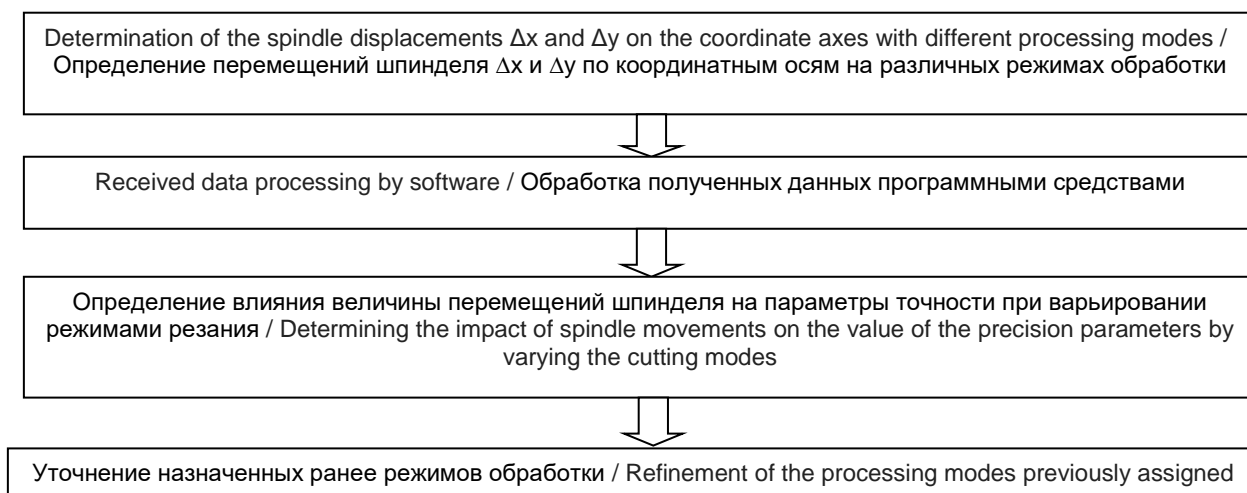


Fig. 5 – Scheme of the planned research implementation / Схема проведения планируемого исследования

At the beginning of each experiments series the initial position x_0 , y_0 of the beam of each laser reflection point of the of the sensors concerning to the operating range S start was determined:

$$x_0 = \frac{U_{0X}}{U_{max}} \cdot S, \quad y_0 = \frac{U_{0Y}}{U_{max}} \cdot S, \quad (1)$$

where U_{0X} , U_{0Y} - arithmetic means values of the laser sensor with a stationary spindle, V;

U_{max} - the maximum value of the laser sensor output signal, $U_{max} = 10$ V;

S - the operating range of the laser sensors, $S = 2$ mm.

The sensors operating principle is described in the work [7].

In accordance to the scheme of the experiment implementation the cutting equipment was adjusted and a series of experiments of the processing valve seats was carried out, fixing with the laser sensors on a time interval a discrete set of values of the spindle displacement in the orthogonal plane to the axis of rotation. All experiments were performed under the same environmental conditions and climate disturbances.

The measurement results were recorded in the IRIS software oscilloscope software in «.xls» file format [7], and then by the Microsoft Office Excel program the displacement of the spindle axis in linear values was determined according to:

$$\Delta x_i = \frac{U_{Xi}}{U_{max}} \cdot S - x_0 \quad \Delta y_i = \frac{U_{Yi}}{U_{max}} \cdot S - y_0, \quad (2)$$

where U_{Xi} , U_{Yi} - sensor signal at the appropriate time, V.

The variation of the spindle rotation in accordance with the experimental plan provided various processing time of the parts. Therefore, for the same number of measurements per spindle revolution, in the course of experiments the signal sampling frequency on the oscilloscope was set proportionally to the spindle rotation the range $f_d = 50-200$ Hz on the basis of ensuring each sensor 50 measurements per one spindle revolution [7].

The results obtained in the form of sensors signals U_1 , U_2 were processed in the Microsoft Office Excel software (the formulas (1) and (2)) and

В начале каждой серии опытов определялось исходное положение x_0 , y_0 , точки отражения лазерного луча каждого из датчиков относительно начала рабочего диапазона S :

где U_{0X} , U_{0Y} - среднеарифметические значения сигнала лазерного датчика при неподвижном шпинделе, В;

U_{max} – максимальное значение выходного сигнала лазерного датчика, $U_{max} = 10$ В;

S – рабочий диапазон лазерных датчиков, $S = 2$ мм.

Принцип действия датчиков приведён в работе [7].

В соответствии со схемой проведения эксперимента настраивалось металлорежущее оборудование и осуществлялся ряд экспериментов при обработке сёдел клапанов, фиксируя лазерными датчиками на определенном промежутке времени дискретный набор значений смещений шпинделя в плоскости, ортогональной оси вращения. Все эксперименты проводились при одинаковых внешних условиях помех и климата.

Результаты измерений записывались в программное обеспечение осциллографа IRIS в файл формата «.xls» [7], после чего в программе *Microsoft Office Excel* определялось смещение оси шпинделя в линейных величинах по зависимостям:

где U_{Xi} , U_{Yi} - сигнал датчика в соответствующий момент времени, В.

Варьирование частоты вращения шпинделя в соответствии с планом эксперимента обеспечивало различную продолжительность обработки деталей. Поэтому для обеспечения одинакового количества измерений за один оборот шпинделя, в процессе проведения экспериментов частоту дискретизации сигнала на осциллографе устанавливали пропорционально частоте вращения шпинделя в пределах $f_d = 50-200$ Гц из расчета обеспечения каждым датчиком 50 измерений за один оборот шпинделя [7].

Полученные результаты в виде сигналов датчиков U_1 , U_2 были обработаны в среде *Microsoft Office*

output as dependency graphs Δx , Δy - maximum runout on the spindle rotation frequency n and spindle feed S . Fig. 6, 7 show typical dependency and graphs of this diagrams corresponding to deviations from roundness Δr within a predetermined tolerance of 0,01 mm.

Excel (по формулам (1) и (2)) и выведены в виде графиков зависимостей Δx , Δy – максимального биения шпинделя от частоты вращения n и подачи S шпинделя. На рис. 6, 7 представлены типовые диаграммы и графики данных зависимостей, соответствующие значениям отклонения от круглости Δr в пределах заданного допуска 0,01 мм.

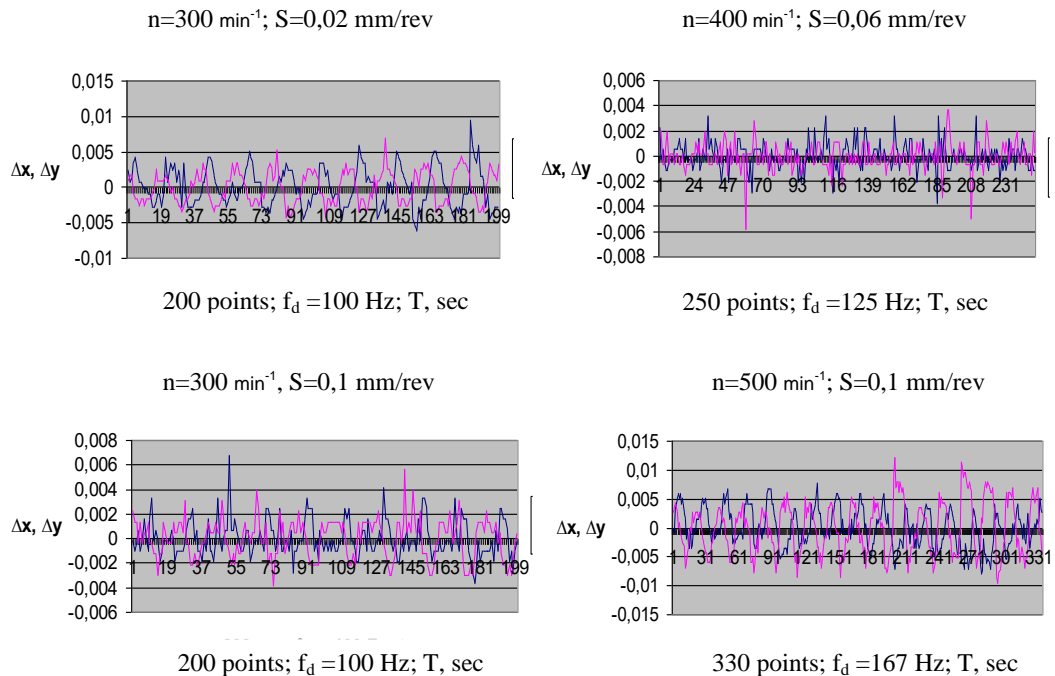


Fig. 6 - Typical dependency diagrams of Δx , Δy runout of spindle on cutting conditions n and S / Типовые диаграммы зависимостей биения Δx , Δy шпинделя от режимов резания n и S

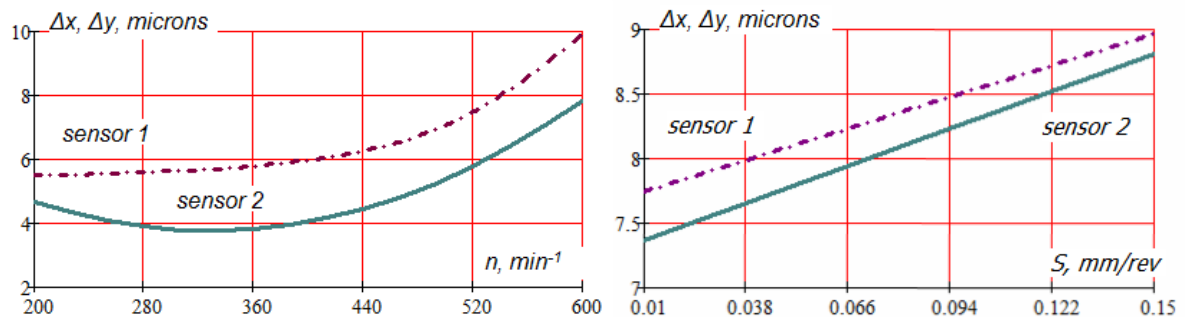


Fig. 7 - Dependency graphs of Δx , Δy runout of spindle on cutting conditions n and S / Графики зависимостей биения Δx , Δy шпинделя от режимов резания n и S

Of the 20 carried out tests on the according to the analysis results of the valve seats processing using laser sensors it was defined, that within the processing surfaces with feed of 0,02 ÷ 0,10 mm/rev and in the range of spindle rotation of 300 ÷ 550 min⁻¹ the maximum displacements of the spindle stay within the deviation from roundness tolerance, in the frequency range 500 ÷ 550 min⁻¹ and feed 0,10 ÷ 0,15 mm/rev rapidly approaches the limit value, and for $n > 600$ min⁻¹ and $S > 0,15$ mm/rev extremely increase. This behavior can be explained, respectively, increasing the cutting speed V , the cutting forces [1], the influence of the centrifugal force and the increasing presence of static imbalance of the spindle shaft.

For valve seats, machined in the range of $S = 0,02 \div 0,10$ mm/rev and $n = 300 \div 550$ min⁻¹ the deviation from roundness was carried out using "Talyrond" equipment in metrology certified

Из 20-ти проведённых опытов по результатам анализа обработки седел клапанов с использованием лазерных датчиков установлено, что максимальные смещения шпинделя при обработке поверхностей с подачей 0,02÷0,10 мм/об и в диапазоне частот вращения шпинделя 300÷550 мин⁻¹ остаются в пределах допуска на отклонение от круглости, в области частот 500÷550 мин⁻¹ и подач 0,10÷0,15 мм/об стремительно приближаются к предельному значению, а при $n > 600$ мин⁻¹ и $S > 0,15$ мм/об экстремально увеличиваются. Данное поведение поясняется, соответственно, увеличением скорости резания V , сил резания [1], влиянием растущей центробежной силы и присутствием статического дисбаланса вала шпинделя.

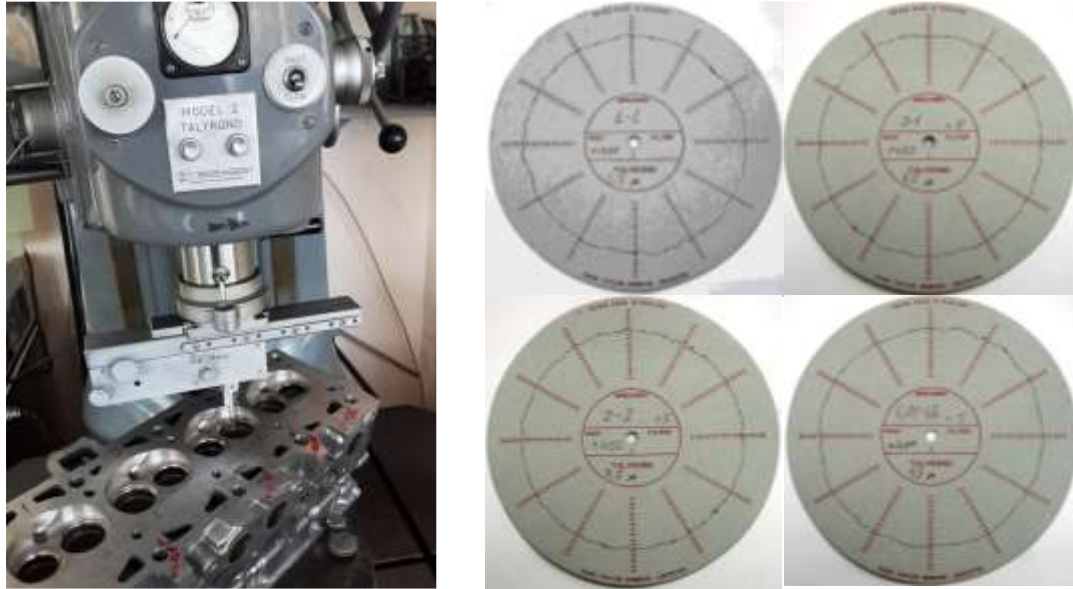
Для седел клапанов, обработанных в диапазонах $S=0,02\div0,10$ мм/об и $n=300\div550$ мин⁻¹ было измерено отклонение от круглости с использованием оборудования типа «Talyrond» в метрологической

laboratory (Fig. 8) [3].

The obtained results of deviation from roundness were processed using *MathCad* and "*Komпас*" softwares and presented as dependency graphs on the machining conditions Δr n and S (Fig. 9).

сертифицированной лаборатории (рис. 8) [3].

Полученные результаты отклонения от круглости круглограмм были обработаны с помощью программного обеспечения *MathCad* и «*Компас*» и представлены в виде графиков зависимости Δr от режимов резания n и S (рис. 9).



(a) (b)

Fig. 8 – Test of valve seats for the deviation from roundness (a), test results (b) / Контроль экспериментальных седел клапанов на отклонение от округлости (a), результаты контроля (b)

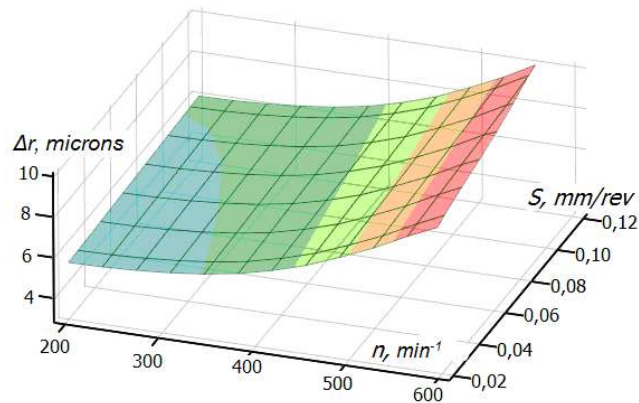


Fig. 9 – Experimental dependence of the shape deviation Δr of the processed surface from the roundness on the cutting conditions n and S / Экспериментальная зависимость отклонения формы Δr обработанной поверхности от округлости от режимов резания n и S

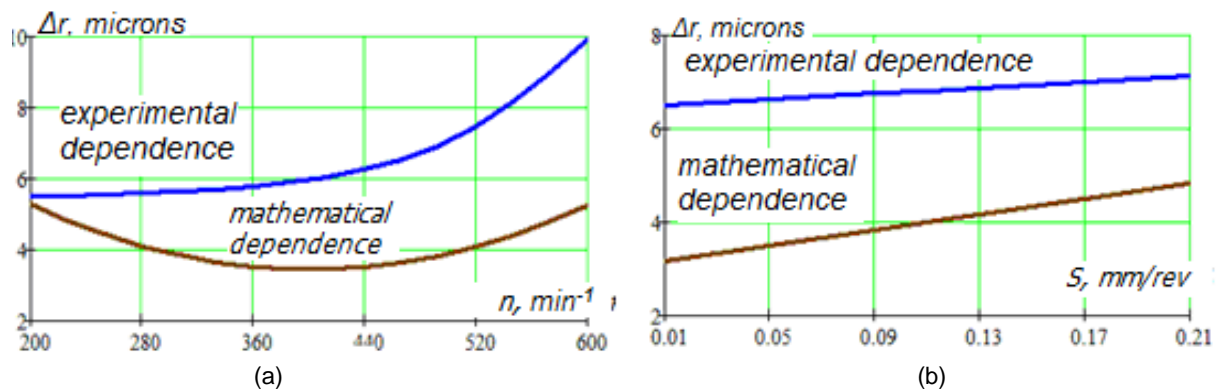


Fig. 10 – Comparison of theoretical and experimental dependences of the shape deviation Δr of the processed surface from the roundness on the: spindle rotation (a); spindle feed S / Сравнение теоретических и экспериментальных зависимостей отклонения формы Δr обработанной поверхности от округлости от: частоты вращения шпинделя n (a); подачи шпинделя S (b)

The adequacy of the obtained mathematical modeling dependences is confirmed by comparing the theoretical and experimental results (Fig. 10). The discrepancy between the modeled and practical values is within a 10 to 20%.

CONCLUSIONS

The carried out experiments in this work using laser sensors allowed to explore by practical method a spindle value in the orthogonal plane to its axis of rotation and thereby to determine its influence on the form error of valve seats within their processing.

Based on the analysis of dependency graphs and roundness measurement results for the reaching of valve seats deviations from roundness values within $5,5 \div 10$ microns the recommended spindle rotation and feed rate should be, respectively, $300 \div 550 \text{ min}^{-1}$ and $0,02 \div 0,1 \text{ mm/rev}$. The depth of cutting on deviation from roundness practically doesn't effect in the above specified ranges of the frequencies and feeds.

REFERENCES

- [1]. Bondarenko S.G. (2007) – Fundamentals of engineering technology. – Lviv: «Magnolia 2006». – 500 p.
- [2]. Veremei G.A. (2011) – Methods of improving the quality of the parts contacting surfaces in internal combustion engines, Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series “Technical sciences”, № 3(51), pg. 79-83.
- [3]. Veremei G.A. (2015) - The efficiency increasing of the valve seats' overhauled process in auto repairing production, Dissertation for the scientific degree of candidate technical sciences. – Chernigiv National University of Technology
- [4]. Zharii Y., Veremei H. (2014) – An optimization model of the valve seats flow detection process in the timing gear at the overhaul, Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series “Technical sciences”, №2 (73). – 62-69 pg.
- [5]. Kalchenko V.I., Kalchenko V.V., Veremei G.A. (2011) – Technological methods of achieving of the "valve-seat" conjugation precision in the internal combustion engine, Visnyk of Sevastopol National Technical University. Series “Machins-instrumentation and transport”, Edition 121/2011. – 18-21 pg.
- [6]. Kalchenko V.I., Kalchenko V.V., Veremei G.A., Slednikova E.S. (2015) - Modular 3D-modeling of tools, removal allowance process and forming within valve seats boring with oriented plate, Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series “Technical sciences”, № 2 (78). - 51-59 pg.
- [7]. Sapon S.P., Fedorynenko D., Urlina A., Avanesov Y. (2015) – Analysis of the accuracy of spindle unit, when the pressure in the hydrostatic bearings of spindle is regulated, Scintific journal “Technological Complexes”, № 1 (11). – 44–52 pg.
- [8]. Zharii Y., Veremei H. (2014) - The Geometry Mathematical Modeling of the Overhauled Valve-seat Surfaces in the Valve Timing Gear, The Sixth World Congress “Aviation in the XXI Century” / Safety in Aviation and Space Technologies – K.: NAU, – P.17-21

Адекватность, полученных математическим моделированием зависимостей, подтверждается сравнением полученных экспериментальных результатов (рис. 10). Расхождение между моделируемыми и практическими значениями находится в пределах 10 до 20%.

ВЫВОДЫ

Проведённые в работе эксперименты с использованием лазерных датчиков позволили исследовать практическим методом величину смещения шпинделя в плоскости ортогональной его оси вращения и тем самым определить её влияние на погрешность формы при обработке седел клапанов.

На основании проведённого анализа графиков зависимостей и результатов круглограмм для обеспечения значений отклонения от округлости седел клапанов в пределах $5,5 \div 10$ мкм рекомендуемые значения частоты вращения и подачи шпинделя должны составлять, соответственно, $300 \div 550 \text{ мин}^{-1}$ и $0,02 \div 0,1 \text{ мм/об}$. Глубина резания на отклонение от округлости практически не влияет в указанных выше диапазонах частот и подач.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

- [1]. Бондаренко С.Г. (2007) – Основы технології машинобудування. – Львів: «Магнолія 2006». – 500 с.
- [2]. Веремей Г.А. (2011) - Методи підвищення якості поверхностей сопряжения деталей в двигателях внутрішнього сгорання, Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – Чернігів, № 3 (51). – С.79-83.
- [3]. Веремей Г.А. (2015) - Повышение эффективности процесса восстановления седел клапанов в авторемонтном производстве, Диссертация к.т.н. – Чернигов, ЧНТУ. – 183 с.
- [4]. Жарий Я.В., Веремей Г.А. (2014) - Модель оптимізації процесу дефектації седел клапанов газораспределительного механизма при восстановительном ремонте, Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія “Технічні науки”, – № 2 (73). – С. 62-69
- [5]. Кальченко В.И., Кальченко В.В., Веремей Г.А. (2011) - Технологические методы достижения точности сопряжения «клапан-седло» в двигателе внутреннего сгорания, Вісник Севастопольського національного технічного університету. – Севастополь. Серія «Машиноприладобудування та транспорт», Вип. 121/2011.– С.18-21.
- [6]. Кальченко В.И., Кальченко В.В., Веремей Г.А., Следникова Е.С. (2015) - Модульное 3D-моделирование инструментов, процесса съема припуска и формообразования при растачивании седел клапанов ориентированной пластинкой, Вісник Чернігівського національного технологічного університету. Серія “Технічні науки”, № 2 (78). – С.51-59.
- [7]. Сапон С.П., Федориненко Д.Ю., Урліна А.А., Аванесов Є.В. (2015) – Аналіз точності шпиндельного вузла при регулюванні тиску в гідростатичних опорах, Науковий журнал «Технологічні комплекси», № 1 (11). – С. 44–52.
- [8]. Zharii Y., Veremei H. (2014) - The Geometry Mathematical Modeling of the Overhauled Valve-seat Surfaces in the Valve Timing Gear, The Sixth World Congress “Aviation in the XXI Century” / Safety in Aviation and Space Technologies – K.: NAU, – P.17-21