

УДК 621.9.022.1

Веремей¹ Г.А., к.т.н.; Пливак² А.А., ассист.; Майданюк² С.В., асп.

1 – ЧНТУ, г. Чернигов, Украина; 2 - НТУУ «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ВОССТАНОВЛЕНИЯ СЁДЕЛ КЛАПАНОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ОБРАБОТКИ

Veremei¹ H., Plivak² A., Maidaniuk² S.

1 - Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine (gennady_1972@mail.ru);

2 - National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine (aplivak@gmail.com, maysv3@gmail.com)

QUALITY ANALYSIS OF VALVE SEATS OVERHAUL UNDER DIFFERENT CUTTING CONDITIONS

Цель. Подтверждение полученных ранее теоретических закономерностей влияния режимов резания на геометрическую точность формообразования и качество восстановленных поверхностей седел клапанов в газораспределительном механизме двигателя внутреннего сгорания.

Методика. Работа проводилась путём исследования параметров качества экспериментальных седел клапанов с использованием современных методов контроля.

Результаты. Получены практические зависимости влияния изменения режимов резания на параметры качества обрабатываемых поверхностей.

Научная новизна. Выполненная работа позволила провести анализ представленных ранее математических моделей и полученных практических зависимостей для параметров качества процесса формообразования седел клапанов.

Практическая значимость. Выявлены рациональные режимы обработки для обеспечения требуемых параметров качества при восстановлении седел клапанов в авторемонтном производстве.

Ключевые слова: восстановительный ремонт; точность обработки; отклонение от круглости; шероховатость поверхности; процесс формообразования; режимы резания; параметры качества.

Введение

Как показывают исследования в области авторемонтного производства газораспределительных механизмов (ГРМ) в двигателях внутреннего сгорания (ДВС), существующие ремонтные технологии и оборудование часто не в состоянии обеспечить постоянство заданных параметров точности и шероховатости при проведении восстановительных ремонтов седел клапанов [1]. Причинами данной проблемы являются, в основном, недостаточная жёсткость обрабатываемой системы и нестабильность усилий резания при применении ручных приспособлений и металлорежущего оборудования портативного типа [1-3].

Анализ параметров качества восстанавливаемых седел клапанов в данной статье базируется на:

1) неопубликованных ранее результатах практических исследований, полученных современными методами контроля;

2) построении экспериментальных зависимостей влияния изменения режимов резания на параметры качества обрабатываемых седел клапанов;

3) сравнении разработанных ранее теоретических зависимостей с экспериментальными.

Решение вопросов по обеспечению качества восстанавливаемых поверхностей седел клапанов при моделировании процесса их формообразования приведено в работах [1, 4-7] в виде математического аппарата, представляющего собой научную новизну:

1. В работах [1, 4] впервые разработана общая, математическая, модульная 3D-модель инструментальной поверхности, снятия припуска и формообразования поверхностей седел на базе унифицированных модулей: инструментального, преобразования, ориентации, формообразования. Модель позволяет по общему алгоритму анализировать процессы снятия припуска и качество формообразования при растачивании седел клапанов широкой номенклатуры ориентированным режущим инструментом (РИ).

2. В публикациях [5-7] впервые представлена общая математическая модель восстановления изношенных поверхностей седел клапанов в аналитическом виде на базе частных 3D-моделей, позволяющих решить задачи: геометрического описания изношенных поверхностей седла клапана со сложно-переменной топографией

$$R_a = 2,6791 + 0,0098 \cdot 10^{-3} \cdot n^2 - 0,0078 \cdot n + 6,4286 \cdot S \cdot t - 3,2113 \cdot S - 0,765 \cdot t. \quad (1.2)$$

В графическом виде теоретические зависимости влияния изменения режимов резания n , S и t на отклонение от круглости $\Delta_{кр}$ и шероховатость R_a обрабатываемых поверхностей сёдел клапанов представлены на рис. 2.

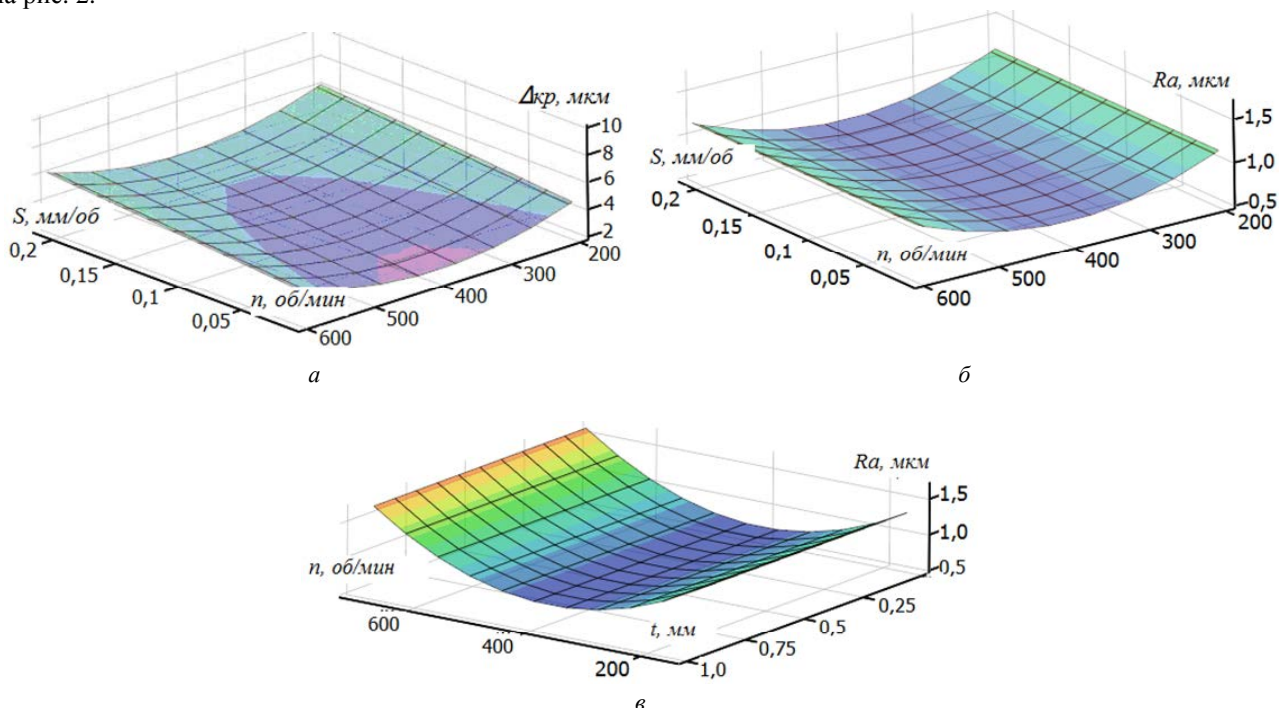


Рис. 2. Теоретические зависимости показателей качества от режимов резания: (а) – отклонение формы обработанной поверхности от круглости $\Delta_{кр}$; (б), (в) - зависимости параметра шероховатости R_a

Результаты анализа уравнений регрессии показали, что значительное влияние на параметры круглости и шероховатости обработанных поверхностей имеют частота вращения шпинделя и подача. Частота вращения шпинделя в интервале 300-550 *об/мин* и подача на оборот в диапазоне 0,01-0,15 *мм/об* обеспечивают допустимые среднестатистические отклонения параметров округлости и шероховатости [1].

В работе [12] проведено практическое исследование влияния изменения режимов резания на отклонение от круглости в процессе обработки с целью уточнения диапазонов режимов резания. Эксперимент проводился с 20-ю сёдлами клапанов, где изменение параметра $\Delta_{кр}$ наблюдалось путём контроля величины перемещений шпинделя в ортогональной плоскости к оси его вращения с помощью 2-х лазерных триангуляционных датчиков. Опыты проводились с пошаговым изменением частоты вращения и подачи шпинделя с помощью электрического частотного вариатора [1]. Полученные результаты в виде сигналов датчиков были обработаны в среде *Microsoft Office Excel* и выведены в виде типовых диаграмм биения шпинделя, которые с помощью программного обеспечения *MathCad* были обработаны и приведены в виде графических зависимостей влияния изменения частоты вращения n и подачи S шпинделя на параметр $\Delta_{кр}$ (рис. 3).

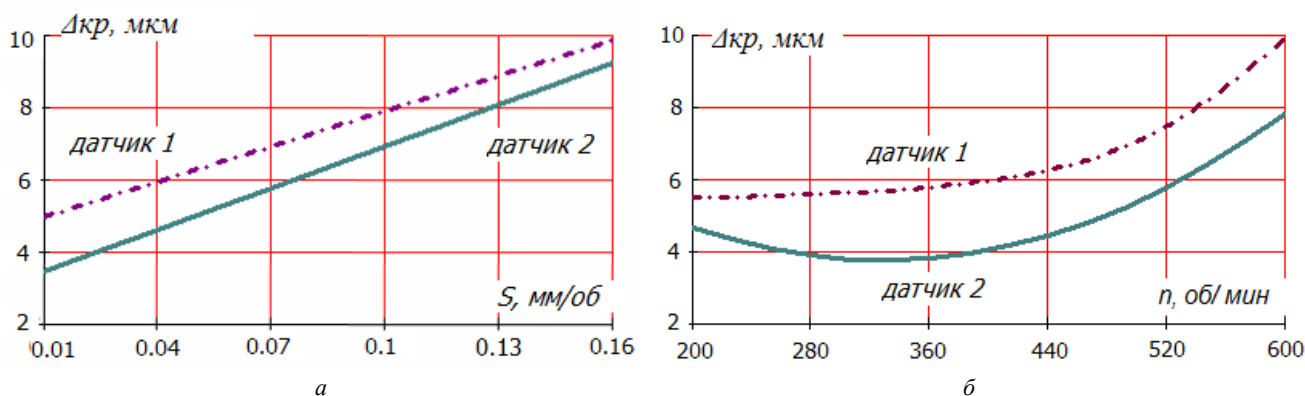


Рис. 3. Графики зависимостей влияния изменения режимов резания S – (а) и n – (б) на отклонения от круглости $\Delta_{кр}$

После проведения восстановительного ремонта сѐдел клапанов на разработанном металлорежущем оборудовании [1], при указанных выше диапазонах режимов резания, контролю на качество обработки были подвергнуты 32 седла и получены 96 показаний шероховатости Ra и отклонения от круглости Δkr . Оценка данных параметров качества процесса формообразования проводилась с помощью измерительного комплекса: кругломера (Talyrond, Model 2) и профилометра («Taylor Hobson, Surtronic 2») (рис. 4). Точность измерений круглости и шероховатости, соответственно: 2,5 мкм; 0,01 мкм.



Рис. 4. Контроль параметров качества обработанных сѐдел клапанов:
 (а) – измерение отклонения от круглости на кругломере Talyrond, Model 2;
 (б) – измерение шероховатости на профилометре Taylor Hobson, Surtronic 2

Измерение отклонений от округлости осуществлялось в трёх поперечных сечениях перпендикулярных оси вращения конусной поверхности (рис. 5, а). Абсолютная величина погрешности измерения составляла 0,5 мкм. Результаты измерений по круглограммам составили $5,5 \div 10$ мкм (протокол №110 лаборатории ММИ НТУУ «КПИ») [1].

Определение величины микронеровностей экспериментальных сѐдел проводилось в трёх осевых сечениях по образующим конусной поверхности (рис. 5, б) [1]. Абсолютная величина погрешности измерения составляла 0,2 мкм. Результаты измерений Ra по показаниям профилометра составили $0,6 \div 1,24$ мкм (протокол № 111 лаборатории ММИ НТУУ «КПИ») [1].

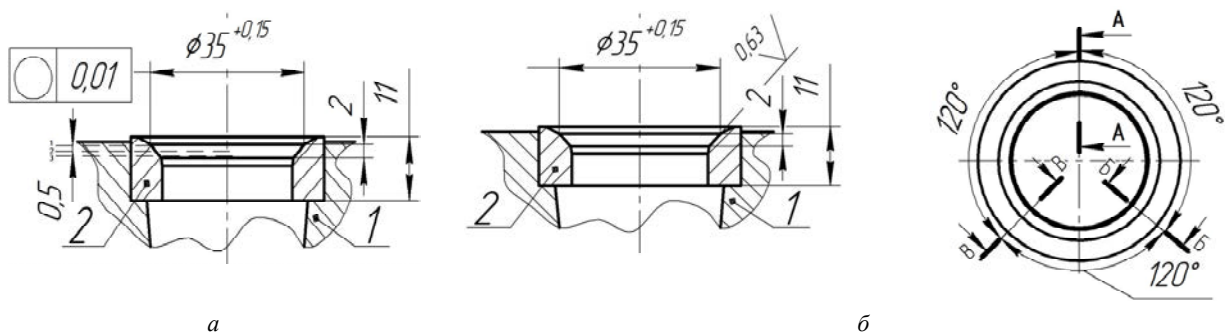


Рис. 5. Схемы расположения сечений при измерении: (а) - отклонения от круглости обработанной поверхности седла клапана; (б) - шероховатости обработанной поверхности; 1 – головка блока двигателя; 2 – седло клапана

Обработка сѐдел клапанов проводилась с помощью профильной пластины с тремя режущими кромками. Материал режущей части РИ, согласно результатам измерений шероховатости обработанных поверхностей деталей и радиуса скругления режущей кромки пластины ($Ra < 0,6$ мкм, $\rho = 9 \div 11$ мкм (протокол № 112 лаборатории ММИ НТУУ «КПИ») [1]), соответствует аналогу композиционного эльборового покрытия пластины из кубического нитрида бора, что даёт возможность лезвийным методом обработки на невысоких скоростях резания $V < 100$ м/мин получать качество обработанной поверхности с высотой микронеровностей до 0,3 мкм [13]. Измерения радиуса скругления режущей кромки профильной пластины проводились с

помощью компьютеризированного комплекса на базе профилометра модели 296 № Э-230 (рис. 6) с использованием методики и программного обеспечения, представленных в [14].

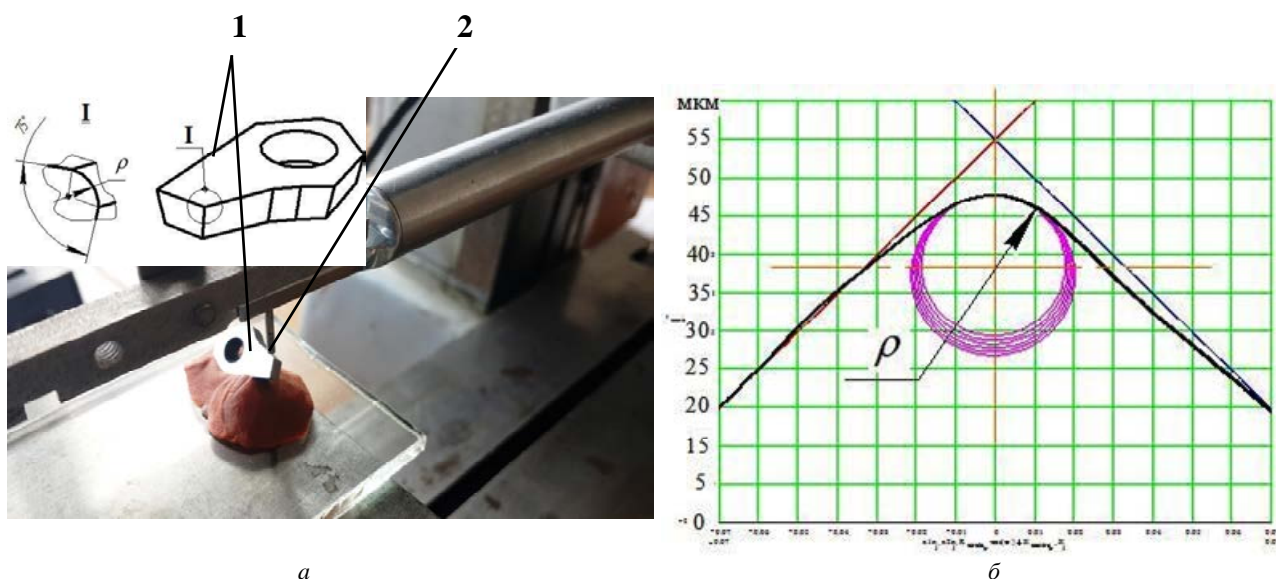


Рис. 6. Измерение (а) и определение величины (б) радиуса скругления ρ режущей кромки профильной пластины проводились с помощью комплекса на базе профилометра мод. 296: 1 – РИ; 2 – игла профилометра

Полученные результаты отклонения от круглости (в виде круглограмм (рис. 7)) и шероховатости обработанных поверхностей были обработаны с помощью программного обеспечения *MathCad* и «Компас» и представлены в виде графиков зависимостей Δk_p и Ra от режимов резания n и S (рис. 8).

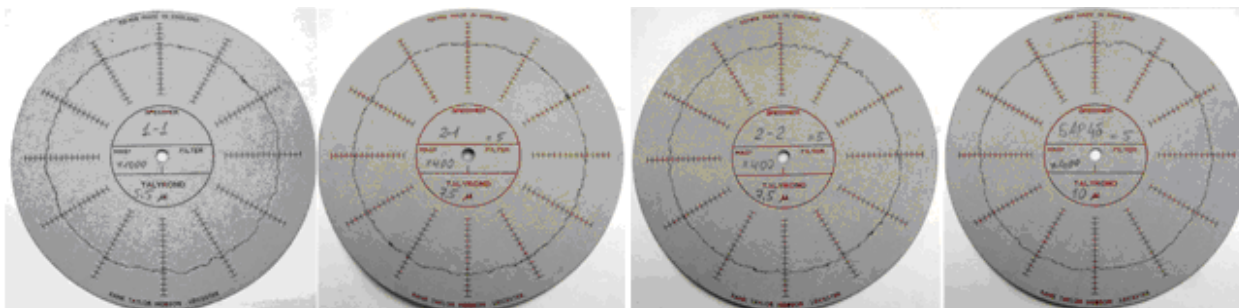


Рис. 7. Типовые круглограммы обработанных сѐдел клапанов

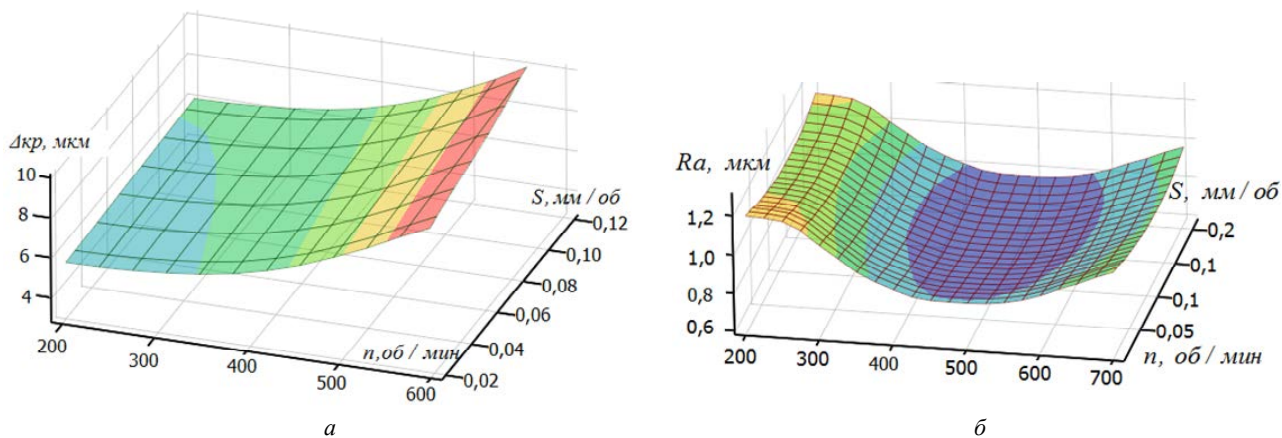


Рис. 8. Зависимости отклонения от круглости Δk_p (а) и шероховатости Ra (б) поверхностей экспериментальных сѐдел клапанов от режимов обработки n и S

Анализ результатов обработки сѐдел клапанов показал, что отклонение от круглости обработанных поверхностей при подаче $0,02 \div 0,15$ мм/об остаётся в пределах допуска в диапазоне частот вращения шпинделя $300 \div 550$ об/мин, в области частот $450 \div 550$ об/мин приближается к предельному значению, а при повышении $n >$

600 об/мин экстремально увеличивается. Данное поведение поясняется, соответственно, увеличением скорости резания V , величины силы резания, влиянием растущей центробежной силы и присутствием статического дисбаланса вала шпинделя. В пределах значений $0,01 \div 0,15$ мм/об подача влияет мало на шероховатость и увеличивается с повышением силы резания.

В области частот $400 \div 500$ об/мин шероховатость фактически остаётся неизменной, а при входе в диапазон частот $n > 600$ об/мин и повышенных подач начинает экстремально расти, что объясняется воздействием виброактивности привода шпинделя и упругими деформациями его элементов в результате повышения сил резания.

Глубина резания на отклонение от круглости практически не влияет в указанных выше диапазонах частот и подач. На параметр шероховатости изменение глубины резания при различной степени износа сёдел в представленном диапазоне $0,05 \leq t \leq 1$ мм фактически не сказывается и она формируется за счёт микронеровностей и радиуса скругления ρ режущей кромки пластины [15].

Адекватность, полученных математическим моделированием зависимостей параметров точности $\Delta_{кр}$ от режимов резания n и S и Ra от n подтверждается сравнением полученных экспериментальных результатов (рис. 9) [1]. Расхождение между теоретическими и практическими данными в выше указанных диапазонах находится в пределах 10 до 20%.

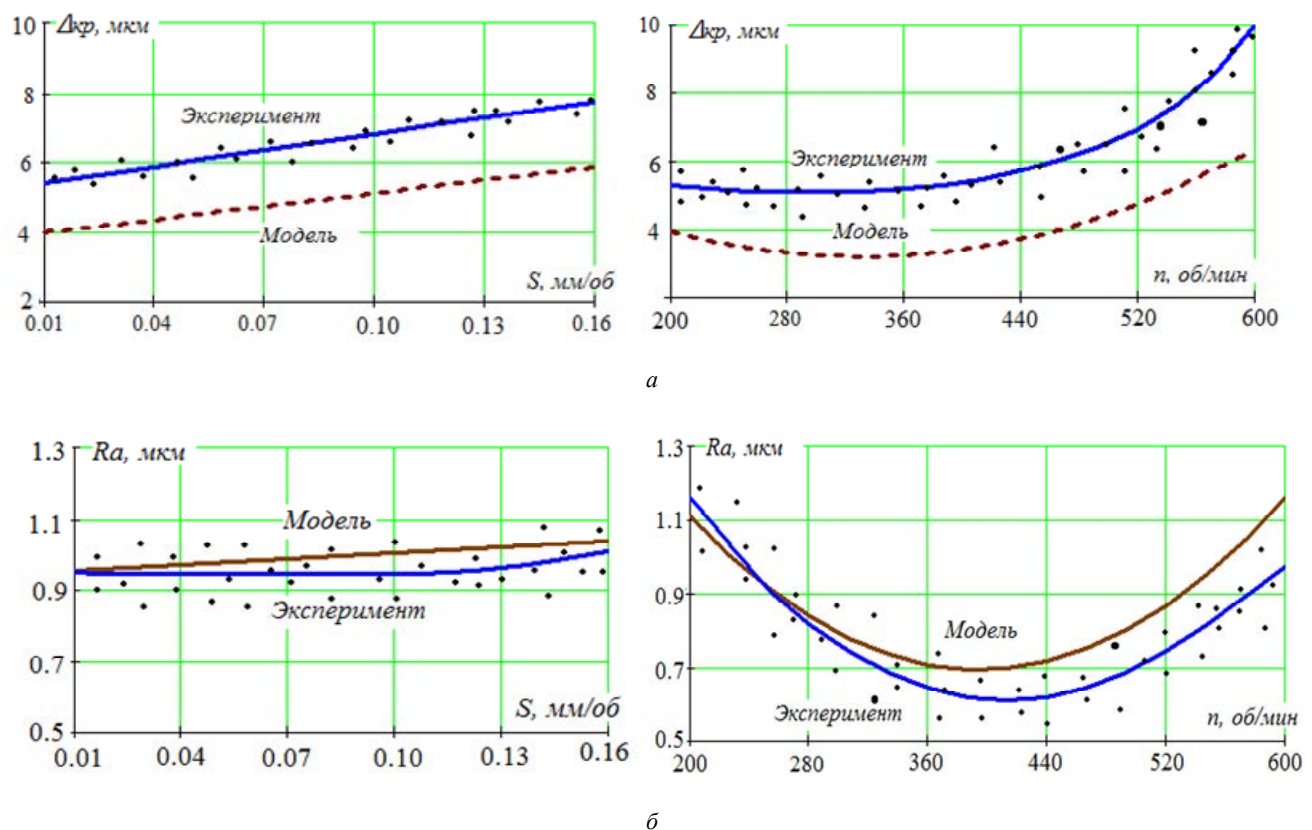


Рис. 9. Сравнение моделируемых и экспериментальных зависимостей отклонения от круглости $\Delta_{кр}$ (а) и шероховатости Ra (б) поверхностей экспериментальных сёдел клапанов от режимов обработки n и S

На основании проведённого анализа графиков зависимостей для получения минимальных значений шероховатости $0,6$ мкм и отклонения от круглости $5,5$ мкм рекомендуемые значения подачи и частоты вращения составляют $300 \div 400$ об/мин и $0,01 \div 0,1$ мм/об.

Выводы

Проведённый в работе контроль обработанных поверхностей сёдел клапанов с использованием современного мерительного оборудования позволил выполнить сравнительный анализ полученных ранее теоретических и практических результатов исследований в виде графических зависимостей параметров качества от режимов обработки. На основании проведённого исследования рекомендованы режимы обработки:

1) для обеспечения значений отклонения от круглости сёдел клапанов в пределах $5,5 \div 10$ мкм оптимальные значения частоты вращения и подачи шпинделя должны составлять, соответственно, $300 \div 550$ мин⁻¹ и $0,01 \div 0,15$ мм/об;

2) для досягнення мінімальних значень шерохватості $Ra < 0,6$ мкм оптимальні значення подачі і частоти вращення складають $300\div 400 \text{ мин}^{-1}$ і $0,01\div 0,1 \text{ мм/об}$, відповідно.

Анотація.

Мета. Підтвердження отриманих раніше теоретичних закономірностей впливу режимів різання на геометричну точність формування і якість відновлених поверхонь сідел клапанів в газорозподільному механізмі двигуна внутрішнього згоряння.

Методика. Робота проводилася шляхом дослідження параметрів якості експериментальних сідел клапанів з використанням сучасних засобів контролю.

Результати. Отримано практичні залежності впливу варіюваних режимів різання на параметри якості оброблюваних поверхонь.

Наукова новизна. Виконана робота дозволила провести кореляцію між представленими раніше математичними моделями і отриманими практичними залежностями для параметрів якості процесу формування сідел клапанів.

Практична значимість. Виявлено раціональні режими обробки для забезпечення необхідних параметрів якості при відновленні сідел клапанів в авторемонтному виробництві.

Ключові слова: відновлювальний ремонт; точність обробки; відхилення від круглості; шорсткість поверхні; процес формування; режими різання; параметри якості.

Abstract.

Purpose. To confirm the influence of the previously obtained theoretical dependences of the cutting conditions on the geometrical forming precision and quality for the valve seats overhauled surfaces in the timing gear of the internal combustion engine.

Methodology. The practical research of the valve seats quality parameters was carried out with the usage of modern control means and software.

Results. The practical dependences of the different cutting conditions influence on the quality parameters of the processing surfaces were obtained.

Scientific novelty. Completed work allowed to perform an analysis for the presented previously mathematical models and practically received dependencies. The discrepancy between the theoretical and actual data was defined in the certain range.

Practical importance. The completed analysis admitted to identify rational modes of cutting conditions to ensure the necessary quality parameters of the machining surfaces within valve seats overhaul process in the auto repairing industry.

Keywords: overhaul process, machining precision, deviation from roundness, surface roughness, formation process, cutting conditions; quality parameters.

Библиографический список использованной литературы

1. *Веремей Г.А.* Повышение эффективности процесса восстановления седел клапанов в авторемонтном производстве: дис. кандидата тех. наук: 16.09.2015 / Веремей Геннадий Александрович. – Чернигов, ЧНТУ, 2015. – 183 с.
2. *Коробейник А.В.* Ремонт автомобилей. Теоретический курс. Учебник «Общая теория ремонта автомобилей» / Коробейник А.В. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2004. – 288 с.
3. *Чабанний В.Я.* Ремонт автомобилей: Навчальний посібник. Книга 2/ Чабанний В.Я. – Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2007. – 348 с.
4. *Кальченко В.И., Кальченко В.В., Веремей Г.А., Следникова Е.С.* Модульное 3D-моделирование инструментов, процесса съема припуска и формообразования при растачивании седел клапанов ориентированной пластинкой/ Кальченко В.И., Кальченко В.В., Веремей Г.А., Следникова Е.С. – Чернігів: ЧНТУ, 2015. – №2 (78). – С. 51-59. /Препринт / ЧНТУ Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія “Технічні науки”; 15 – 6).
5. *Zharii Y., Veremei H.* 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, 2014. – P. 17-21
6. *Жарий Я.В., Веремей Г.А.* Модель оптимизации и процесса дефектации седел клапанов газораспределительного механизма при восстановительном ремонте / Жарий Я. В., Веремей Г.А. – Чернигов, ЧНТУ, 2014. – №2 (73). – С. 62-69. – (Препринт / ЧНТУ, Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія “Технічні науки”; 14 – 6).
7. *Веремей Г. А.* Математическое моделирование формообразования восстанавливаемых поверхностей седла клапана в газораспределительном механизме / Веремей Г. А. – Чернигов, ЧНТУ, 2014. – №1 (71). – С. 127-134. – (Препринт / ЧНТУ, Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія “Технічні науки”; 14 – 6).
8. *Кальченко В.И., Кальченко В.В., Веремей Г.А.* Технологические методы достижения точности сопряжения «клапан-седло» в двигателе внутреннего сгорания / Кальченко В. И., Кальченко В. В., Веремей Г. А. – Севастополь, СевНТУ, 2011. – № 121. – С.18-21. (Препринт / СевНТУ, Вісник Севастопольського національного технічного університету. – Севастополь. Серія «Машиноприладобудування та транспорт»; 11 - 9).
9. Патент України на корисну модель № 95725 МПК В23В 43/00 «Пристрій для обробки сідел клапанів» /Кальченко В. В., Гончарук С. С., Веремей Г. О.; заявник і патентовласник Чернігівський національний технологічний університет. - (2015.01), номер заявки – у 2014 04435, опубл. 12.01.2015, бюл. № 1.
10. Патент України на корисну модель № 95724 МПК В23В 47/00 «Приспособление для базирования пристрою з обробки сідел клапанів»/ Гончарук С.С., Веремей Г.О.; заявник і патентовласник Чернігівський національний технологічний університет. - (2015.01), номер заявки – у 2014 04434, опубл. 12.01.2015, бюл.№1.
11. *Тихомиров В.Б.* Планирование и анализ эксперимента /В.Б.Тихомиров. – М.: Лёгкая индустрия, 1974. – 262 с.

12. Veremey G., Sapon S. An experimental research of the accuracy of overhauled valve seats with the variable cutting conditions, Scientific journal "Technological Complexes" of Lutsk National Technical University, № 1/2 (12), 2015 – 62–69 pg.
13. Залого В.О. Курс лекцій «Інструментальні матеріали для лезових інструментів». Розділ «Інструментальні матеріали»: Навчальний посібник / Залого В.О. – Суми: Вид-во СумДУ, 2007. – 206 с.
14. Майданюк С. В. Модуль для вимірювання фасонних профілів / Майданюк С.В., Плівак О.А., Бекмуратов Р.А. – Житомир, ЖДТУ, 2007. — № 2(41). - С. 15-18. – (Препринт / ЖДТУ, Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки»; 07– 12).
15. Бондаренко С. Г. Основи технології машинобудування/ Бондаренко С. Г. – Львів: «Магнолія», 2007. – 500 с.

References

1. 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. [Povyshenie jeffektivnosti processa vosstanovlenija sjodel klapanov v avtoremontnom proizvodstve: dis. kandidata teh. Nauk], Chernigiv National University of Technology, Chernigiv.
2. Korobeynik, A.V. (2004), *Car Repair*, Theoretical course, The textbook "General Theory of Car Repair", [Remont avtomobilej, Teoreticheskij kurs. Uchebnik «Obshhaja teorija remonta avtomobilej»], Phoenix Rostov-on-Don, Russia.
3. Chabannyi, V.Y. (2007), *Car Repair*. Tutorial. Book 2. [Remont avtomobiliv: Navchal'nij posibnik. Kniga 2], Kirovograd: Central Ukrainian publishing.
4. Kalchenko, V.I., Kalchenko, V.V., Veremei, G.A. and Slednikova E.S. (2015), Modular 3D-modeling tools, the process of removing allowances and formation of valve seat oriented plate. [3D-modelirovanie instrumentov, processa s#ema pripuska i formoobrazovanija pri rastachivanii sedel klapanov orientirovannoj plastinkoj], *Visnyk of Chernihiv State Technological University*. Series "Technical sciences", no 2 (78), pp. 51 - 59.
5. Zhari, Y. and 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, NAU, Kyiv, pp. 17-21.
6. Zharii, Y. and Veremei H. (2014), An optimization model of the valve seats flow detection process in the timing gear at the overhaul. [Model' optimizacii processa defektacii sedel klapanov gazoraspreditel'nogo mehanizma pri vosstanovitel'nom remonte], *Visnyk of Chernihiv State Technological University*, Series "Technical sciences", no. 2 (73), pp. 62 - 69.
7. Veremei, G.A. (2014), The forming mathematical model of the overhauled valve-seat surfaces in the valve timing gear. [Matematicheskoe modelirovanie formoobrazovanija vosstanavlivaemyh poverhnostej sedla klapana v gazoraspreditel'nom mehanizme], *Visnyk of Chernihiv State Technological University*. Series "Technical sciences", no. 1 (71), pp.127-134.
8. Kalchenko, V.I., Kalchenko, V.V. and Veremei, G.A. (2011), Technological methods of achieving of the "valve-seat" conjugation precision in the internal combustion engine. [Metody dostizhenija tochnosti soprzazhenija «klapan-sedlo» v dvigatele vnutrennego sgoranija], *Visnyk of Sevastopol National Technical University*, Series "Machins-instrumentation and transport", Edition no 121 pp. 18-21.
9. Patent of Ukraine № 95725 MPK B23B 43/00 «The device for the valve seats machining», Kalchenko V.V., Goncharuk S.P., Veremei G.A.; An owner - Chernihiv National University of Technology. (2015.01), application number – u 2014 04435, published - 12.01.2015, bulletin №1.
10. Patent of Ukraine № 95724 MPK B23B 47/00 «The basing appliance of the device for the valve seats machining»/ Goncharuk S.P., Veremei G.A.; An owner - Chernihiv National University of Technology. (2015.01), application number – u 2014 04434, published - 12.01.2015, bulletin №1.
11. Tikhomirov V.B. (1974), *Planning and analysis of the experiment*. [Planirovanie i analiz jeksperimenta], Light Industry. Moscow, Russian, pp. 262.
12. Veremey G., Sapon S. An experimental research of the accuracy of overhauled valve seats with the variable cutting conditions, Scientific journal "Technological Complexes" of Lutsk National Technical University, no 1/2 (12), pp. 62–69.
13. Zaloga, V.O. (2007), Course of lectures "Tool materials for edge cutting tools". Chapter "Tool materials": Tutorial. [Kurs lekcij «Instrumental'ni materiali dlja lezovih instrumentiv», Rozdil «Instrumental'ni materiali»: Navchal'nij posibnik, SumDU Sumy, Ukraine.
14. Maidaniyk, S.V., Plivak, A., A. and Bekmuradov R., A. (2007), Module for shape profiles measuring. [Modul' dlja vimirjuvannja fasonnih profiliv], *Visnyk of Zhytomyr State Technological University*, Series "Technical sciences", no 2 (41), pp. 15-18.
15. Bondarenko, S.G. (2007), *Fundamentals of engineering technology*. [Osnovi tehnologii mashinobuduvannja], Magnolia, Lviv, Ukraine.

Подана до редакції 17.04.2016