

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ И ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

DOI: 10.26730/1999-4125-2019-1-5-13

УДК 621.646/67.017

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ АЛМАЗНОГО ВЫГЛАЖИВАНИЯ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ МИКРОГЕОМЕТРИИ ЗАТВОРНЫХ УЗЛОВ АРМАТУРЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

APPLICATION OF DIAMOND SMOOTHING TECHNOLOGY TO IMPROVE THE MICROGEOMETRY OF THE VALVES OF HIGH PRESSURE PIPING

Зайдес Семен Азикович,
доктор техн. наук, профессор, e-mail: zsa@istu.edu
Semyon A. Zaydes, Dr. Sc. in Engineering, Professor,
Машуков Артем Николаевич,
аспирант, e-mail: mexovik@inbox.ru
Artem N. Mashukov, postgraduate

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул.
Лермонтова 83

Irkutsk National Research Technical University, 664074, Irkutsk, ul. Lermontov 83

Аннотация: Главным звеном, обеспечивающим бесперебойную и безопасную эксплуатацию трубопроводных систем высокого давления является запорная и регулирующая арматура. Запорный клапан высокого давления является сложной системой деталей, надежно предохраняющей трубопроводы от утечки токсичных и взрывопожароопасных сред. От качества отделки поверхности затворных узлов арматуры высокого давления зависит ее надежность и продолжительность эксплуатации. Контактные поверхности составляющих затворный узел арматуры высокого давления штока и патрубка являются самыми ответственными её частями, наиболее подверженными износу, а также коррозионному и тепловому воздействию рабочей среды. От величины шероховатости поверхностей данных частей арматуры зависит усилие, создаваемое на штоке для обеспечения её герметичности, и как результат работоспособность арматуры. Для улучшения микрогеометрии патрубка высокого давления применяю различные методы поверхностного пластического деформирования, а также методы с использованием термического воздействия на металл, такие как наплавка, порошковое спекание и другие. Данные методы имеют ряд недостатков, не позволяющих эффективно использовать их для изготовления ответственных частей арматуры высокого давления. В исследовании выбран перспективный для данной области метод улучшения качества поверхности патрубков высокого давления - метод алмазного выглаживания. В статье проведено исследование влияния алмазного выглаживания на изменение шероховатости поверхности затворных узлов арматуры высокого давления. Выбраны наиболее оптимальные режимы при проведении алмазного выглаживания. Результаты, полученные в ходе исследований позволяют рекомендовать данный метод в качестве замены финишной доводки затворных узлов арматуры высокого давления.

Ключевые слова: алмазное выглаживание, клапаны высокого давления, затворные узлы, упрочнение, шероховатость, микрогеометрия поверхности, герметичность.

Abstract: The main link ensuring uninterrupted and safe operation of high-pressure piping systems is shut-off and control valves. The high-pressure shut-off valve is a complex system of parts, which reliably protects the pipelines from leakage of toxic and fire and explosion hazardous media. The reliability and duration of HP pipeline operation depends on the quality of the surface finish of its valve assemblies. The contact surfaces of the components of the high pressure valve assembly of the rod and nozzle are the most critical parts of it, the most susceptible to wear and also to the corrosive and thermal effects of the processing medium. The force generated on the rod to

ensure the tightness and, as a result, the efficiency of the valves depends on the value of surface roughness of these parts of the valve. To improve the microgeometry of the high-pressure nozzle, there are various methods of surface plastic deformation, as well as methods using thermal effects on the metal, such as surfacing, powder sintering, and others. These methods have a number of disadvantages that do not allow their effective use for the manufacture of the critical parts of high-pressure valves. The study selected a promising method for improving the surface of high pressure nozzles for this area - a diamond smoothing method. The article examines the effect of diamond smoothing on the change in surface roughness of the valve assemblies of high pressure fittings. The most optimal modes for carrying out diamond smoothing were selected. The results obtained in the course of research allow us to recommend this method as a replacement for the final finishing of high-pressure pipeline valve assemblies.

Key words: *diamond smoothing, high pressure valves, valve assemblies, hardening, roughness, surface microgeometry, tightness.*

Актуальность работы.

В современном мире работа сложных систем транспортирования жидких и газообразных углеводородных сред немислима без надежных устройств, обеспечивающих безопасность такой транспортировки. Важные части трубопроводных систем - это запорная и регулирующая арматура. К арматуре высокого давления предъявляются повышенные требования по надежности, износостойкости, пожаробезопасности. Арматура высокого давления используются на трубопроводах опасных производственных объектов в качестве запорных и регулирующих устройств для перекрытия потока жидких и газообразных химических сред, и нефтепродуктов с рабочим давлением до 32,0 МПа и температурой до 400 °С [1].

Условия работы арматуры определяются многими факторами: высокой температурой и влажностью окружающей среды, рабочим давлением и температурой протекающей через неё среды, её физическими и химическими свойствами, колебаниями давления и температуры.

Анализ карт отказов показывает, что причиной многих вынужденных остановов энергооборудования является повреждение арматуры вследствие пропуска среды через уплотнения и разрушения запорных узлов [12].

Как указано в [3,4,6] герметичность соединения затворных узлов высокого давления в большей степени зависит от качества поверхности контактного пояса в соединении шток – патрубок, а именно от величины шероховатости контактной поверхности седла патрубка [6].

Большое число теоретических работ посвящено утечкам рабочей среды через уплотнения типа металл – металл в затворных узлах запорной трубопроводной арматуры (ТА). При контакте между двумя реальными плоскостями образуется пространство сложной конфигурации как в поперечном, так и в продольном сечениях. Межуплотнительное пространство представляют в виде щелевой модели, приведенного зазора, пористого тела, набора капилляров, перколяционных и конечноэлементных моделей [10]. В современном мире существует большое разнообразие методов позволяющих снижать количество утечек в затворных узлах путем улучшения микрогеометрии

затворных узлов.

В качестве примера можно привести методы шлифования затворных узлов арматуры с применением многодисковых шлифовальных головок [16, 17]. В статье [16] шлифование деталей-свидетелей 3-х и 5-ти дисковыми шлифовальными головками проводились на вертикально-сверлильном станке.

В зоне резания при шлифовании действуют высокие температуры, под действием которых в поверхностном слое обрабатываемых деталей могут появляться прижоги, трещины и высокие растягивающие напряжения [18, 19, 20].

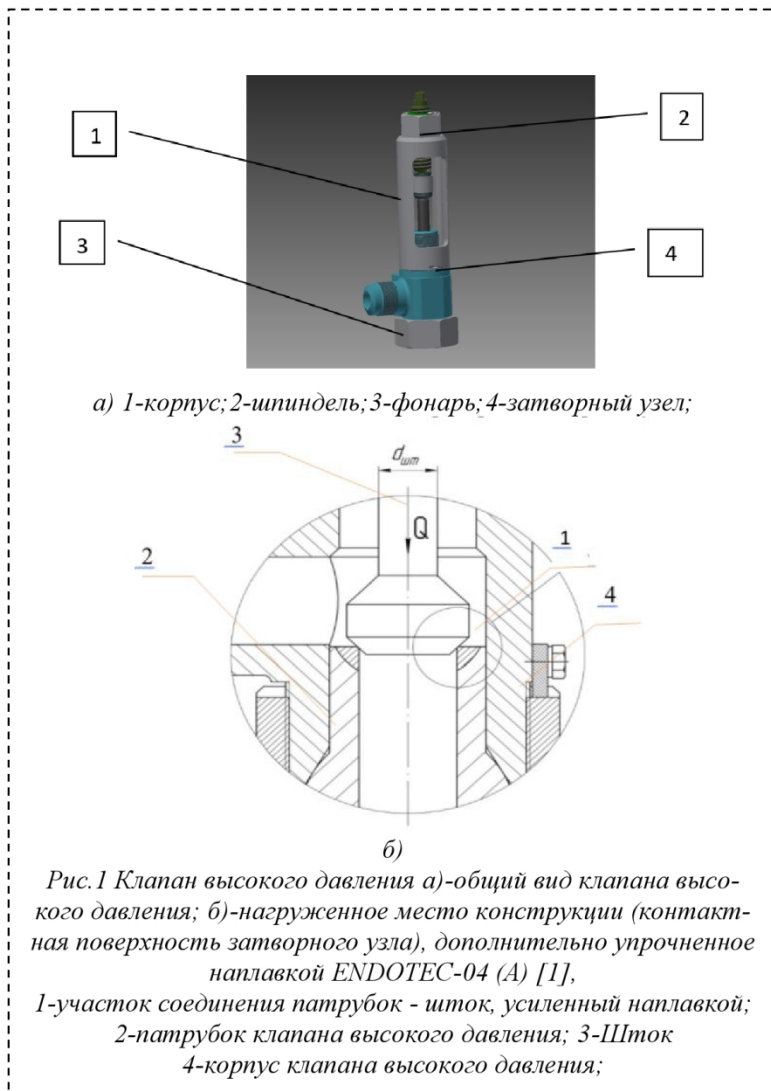
Также необходимо отметить, что тепловое воздействие на деталь при шлифовании может приводить к неконтролируемому изменению твердости поверхностных слоев патрубка что недопустимо, так как по требованиям стандартов необходимо соблюдать разницу в твердости материала в 8 единиц (НВ). Еще одним минусом также будет являться изменение формы деталей при шлифовании.

Применение шлифования неплохо зарекомендовало себя для улучшения геометрии поверхностей арматуры низких параметров, но мало применимо к арматуре высокого давления где от микрогеометрии и точности сопрягаемых поверхностей штока и патрубка, ювелирно подогнанных друг к другу зависит надежность работы всей толстостенной конструкции патрубка высокого давления в целом.

На эксплуатируемой арматуре высокого давления недостатки изготовления с применением шлифования подтверждены внеочередной ревизией арматурных узлов, проведенной в результате выявленных утечек среды в нескольких клапанах из серии DN 40 упрочненных наплавкой. Данные клапаны (2 единицы) отработали менее 6 месяцев в г. Екатеринбурге при заявленном ресурсе 10 лет. Данное обстоятельство приводит к тому, что необходимо увеличивать контактную нагрузку на соединения, чтобы обеспечить требуемый уровень герметичности запорного узла.

Таким образом необходимо провести улучшение шероховатости нагруженной поверхности одним из существующих перспективных методов ГПД, а также исследовать улучшение микрогеометрии после использования такого метода.

Исходя из этого сформулирована цель



работы: исследование влияния процесса алмазного выглаживания, на изменение микрогеометрии поверхности патрубков арматуры высокого давления.

Конструкция клапана высокого давления.

Распространенным видом арматуры высокого давления является запорный клапан. Основные части запорного клапана это: корпус, шпindelь, фонарь, и затворный узел - шток, патрубок. Одним из самых ответственных мест в конструкции клапана (рис. 1) является участок соединения шток-патрубок [1]

В большинстве случаев утечки среды через детали и затворные узлы не допускаются, так как эти показатели наряду с герметичностью определяют безопасность эксплуатации трубопроводной арматуры [4].

Таким образом, работоспособность и износостойкость основной части запорного узла арматуры - седла патрубка клапана является величиной, определяющей долговечность и проектный ресурс

клапана высокого давления в целом. Данная часть патрубка высокого давления для увеличения долговечности и прочности усиливалась наплавкой ENDOTEC-04 имеющей высокие прочностные характеристики и стойкость против коррозии [2]. Сам патрубок изготовлен из материала сталь 09Г2С, данный материал не является коррозионно стойким. Учитывая высокую стоимость и трудоемкость выполнения коррозионно-устойчивой наплавки, производители активно ищут материал патрубка, который может послужить заменой используемой стали без применения наплавки. В качестве варианта такого материала применяемого для изготовления патрубка возможно использование стойкой к коррозионным поражениям стали 30Х13.

Фото патрубка затворного узла, упрочненного наплавкой приведено на рис. 2.

Контактная поверхность патрубка, усиленная такой наплавкой, имея высокую твердость после обработки методами шлифования, полирования, финишной притирки и.т.д. не обеспечивает необходимого уровня шероховатости поверхности.

Необходимую степень герметичности соединения в затворном узле можно обеспечить улучшив качество микрогеометрии затворного узла, а в частности шероховатости контактного пояса патрубка.

По результатам экспериментальных исследований установлено что большая часть патрубков стабильно отрабатывает свой нормативный срок эксплуатации имея шероховатость поверхности $Ra=0,4-0,5$ (мкм). В связи с этим необходим метод поверхностного пластического деформирования

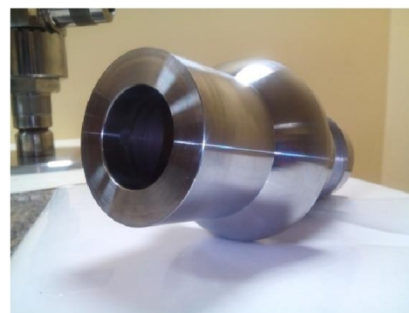


Рис. 2 Фото патрубка клапана высокого давления, упрочненного наплавкой, после финишной обработки контактной поверхности (перед сборкой)

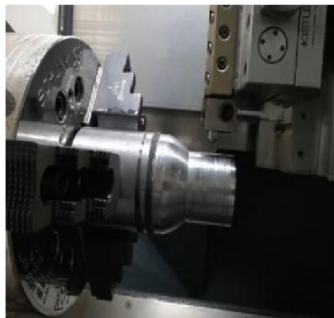
позволяющий уменьшить шероховатость поверхности до подобных параметров.

Выбор метода улучшения поверхности запорного узла клапана.

Проведя анализ существующих методов поверхностного пластического деформирования, позволяющих снизить величину шероховатости до уровня достигаемого при окончательной притирке при этом избегая распространенных проблем, возникающих при такой обработке (изменение твердости, проблема прижогов [19], изменение уровня остаточных напряжений, термические превращения материала, возможность образования подповерхностных трещин [20] и др.) [5] был выбран один из наиболее перспективных, простых в конструктивном плане и материальном методов, а

основным применяемым инструментом является гладилка (алмазный выглаживатель). Он предназначен для формирования поверхностного слоя и улучшения чистоты поверхности при финишной обработке незакаленных и закаленных цементованных сталей, а также цветных металлов и сплавов. Алмазный выглаживатель позволяет обрабатывать детали с прерывистыми поверхностями.

Производительность труда при применении выглаживателей на финишных операциях (притирки, шлифовки) повышается в 4-5 раз, при этом твердость поверхностного слоя увеличивается незначительно на 1-2 ед., что важно для соблюдения различной твердости у штока и седла патрубка арматуры (в соответствии с требованиями НТД разница должна составлять 8 ед.). Качество поверхности может улучшиться по сравнению с исходным



а)



б)

Рис.3 Фото патрубка клапана высокого давления с различными участками после алмазного выглаживания (а-патрубок высокого давления, закрепленный на станке перед выглаживанием, б – участки поверхности (1-6) после выглаживания с различными оборотами при постоянной величине прижима).

именно метод поверхностного пластического деформирования – Алмазное выглаживание [7,8].

Преимуществом данного способа обработки, по сравнению с дробеструйной и многими другими способами упрочнения ППД, является высокое качество поверхности, позволяющее эффективно применять данный метод как заключительный этап технологического процесса обработки поверхности штоков и поршней гидроцилиндров шасси. При обработке гидроцилиндров шероховатость является одним из геометрических параметров качества поверхностного слоя. С применением алмазного выглаживания достигается улучшение микрогеометрии поверхности со снижением шероховатости более чем в 4 раза [11].

Алмазное выглаживание отличается от ППД обкаткой лишь конструктивными особенностями используемого инструмента, в котором рабочим элементом служат алмаз, гексанит или другие сверхтвердые материалы. На качество алмазного выглаживания, т. е. шероховатость поверхности, степень упрочнения, твердость поверхностного слоя, влияет радиус сферической поверхности алмаза, усилие прижатия поверхности к детали, продольная подача и число проходов [13].

При проведении алмазного выглаживания

на 2-3 класса [9].

Методика исследования.

Для проведения эксперимента был выбран один из серии патрубков DN 40 изготовленных из стали 09Г2С упрочненных наплавкой ENDOTEC-04.

Учитывая, что с увеличением числа проходов шероховатость поверхности уменьшается незначительно согласно [14], но при этом наблюдается резкое снижение производительности, было принято решение о проведении процесса выглаживания в 1 проход. В связи с высокими требованиями к микрогеометрии поверхности был выбран метод алмазного выглаживания с жестким закреплением индентора.

Выглаживание проведено по наружной поверхности патрубка клапана высокого давления на станке DMG MORI NZX 1500 с постоянной подачей 0,02 мм/об, постоянной скоростью вращения заготовки $V=40$ м/мин., с 6 различными режимами прижатия алмазного выглаживателя (См. рис. 3 а, б).

При проведении алмазного выглаживания использовался синтетический алмаз марка: АСПК-3 с радиусом 0,7 мм. В процессе выглаживания



Рис.4 Общий вид измерительного динамометрического комплекса для токарных станков Kistler Type 9129AA;

рабочий инструмент (выглаживатель) выполняет выглаживающее действие, преодолевая силы трения, возникающие в зоне его взаимодействия с обрабатываемой поверхностью. При этом выделяется большое количество теплоты, которое распределяется преимущественно в поверхностный слой обрабатываемой заготовки и в выглаживателе [15].

Для предотвращения перегрева рабочей зоны в качестве охлаждающей жидкости, наиболее эффективно отводящей тепло, использовалось минеральное индустриальное масло марки И-20.

Определение шероховатости поверхности проводили на профилометре Bruker Contour GT-K1.

Для измерения усилия прижатия рабочего инструмента применялся динамометрический комплекс Kistler - 3-х компонентный динамометрический комплекс для токарных станков Kistler Type 9129AA, в комплекте со штатным программным комплексом. Измеряемый диапазон Kistler Type - Fx, Fy, Fz ± 10 кН, общий вид комплекса приведен на рис. 4.

Для соответствия свойств материала требованиям стандартов проведены измерения твердости портативным твердомером Mitutoyo Hardmatic HN-411 (значения твердости по Бринеллю, полученные по результатам измерений, практически не изменились (в пределах 1-2 ед.), соответствуют исходным с учетом погрешности проводимых измерений).

Результаты работы.

Результаты измерений шероховатости,

полученной при различных усилиях прижатия выглаживания приведены в таблице.

По результатам измерений построены графики шероховатости поверхности, показывающие её изменение согласно приложенным к алмазному выглаживателю усилиям (рис.5).

По результатам проведенных исследований были построены профилограммы поверхности (см.

Рис.6,7).

Полученные участки с минимальным значением шероховатости поверхности (Rz, Ra) приведены на рис.7 и указаны в таблице (под № 2). Исходное значение шероховатости приведено на рис. 6

Проведенное исследование показало эффективность применяемого метода алмазного выглаживания для улучшения микрогеометрии затворных узлов арматуры высокого давления. Данное исследование позволяет рекомендовать применение метода алмазного выглаживания при серийном производстве патрубков высокого давления.

Выводы:

1. Применение алмазного выглаживания поверхности патрубка высокого давления позволило снизить шероховатость поверхности с 1,49 Ra, мкм до 0,39 для стали 09Г2С упрочненной наплавкой. Данная шероховатость поверхности является достаточной для обеспечения герметичного соединения шток-патрубок.

2. В данном эксперименте оптимальными режимами выглаживания для получения оптимальной шероховатости Rz =2,14 (мкм), Ra=0,39 (мкм) (при данной шероховатости все клапаны из серии обрабатывают назначенный им срок эксплуатации) явились: усилие прижатия рабочего инструмента F=148 Н. При подаче=0,02 мм/об, скорости V=40 м/мин.

Таблица: Результаты измерения шероховатости поверхности патрубков после проведения выглаживания

№ участка для выглаживания	Шероховатость поверхности после выглаживания		Усилие прижатия выглаживателя	Режимы выглаживания:	
	Ra, мкм	Rz, мкм		V скорость (м/мин)	S(подача) (мм/об)
1	0,47	6,3	50 (5)	40	0,02
2	0,39	2,14	148 (14,8)		
3	0,48	4,46	96 (9,6)		
4	0,41	2,95	197 (19,7)		
5	0,40	5,74	60 (6)		
6	0,40	3,74	110 (11)		
Исходное (0)	1,49	8,6	-		

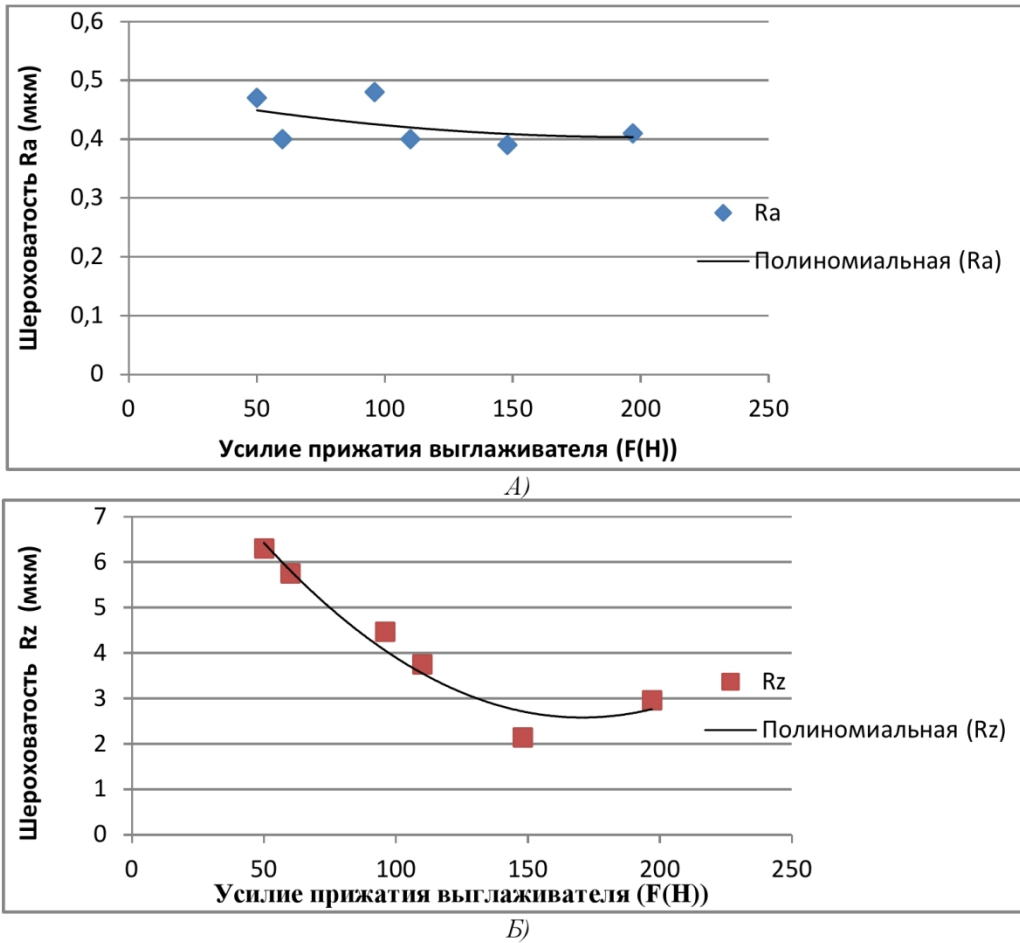


Рис.5 Изменение шероховатости поверхности патрубков высокого давления, в зависимости от усилия прижатия алмазного выглаживателя;
 А)-изменение по Ra, Б)-изменение по Rz

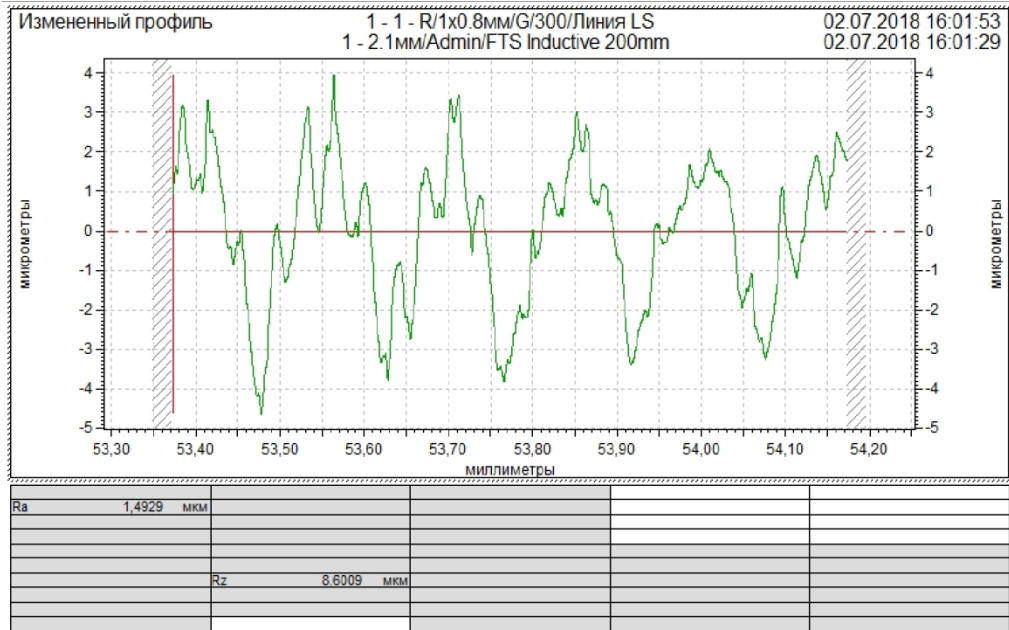


Рис.6 Исходное значение шероховатости поверхности, патрубка клапана высокого давления до проведения выглаживания

11. Пешков, П. А. Применение алмазного выглаживания с целью обеспечения герметичности хромо-вого покрытия поршней гидроцилиндров / П. А. Пешков, В. В. Лунин, А. С. Букатый - В сборнике: XIV Королёвские чтения, международная молодежная научная конференция, посвящённая 110-летию со дня рождения академика С. П. Королёва, 75-летию КуАИ-СГАУ-СамГУ Самарского университета и 60-летию со дня запуска первого искусственного спутника Земли: в 2 томах. Самара 2017. – С. 154-155.
12. Жарова, И. В. Повышение надежности работы запорной и регулирующей арматуры высоких параметров. - В сборнике: Юность и Знания - Гарантия Успеха - 2015 Сборник научных трудов 2-й Международной научно-практической конференции: В 2-х томах. Ответственный редактор: Горохов А. А. Курск 2015. – С. 169-171.
13. Аладышкина, К. О. Применение алмазного выглаживания для упрочнения деталей. / ЭНЕРГИЯ-2018 Тринадцатая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: Материалы конференции. В 6-ти томах. Иваново 2018. – С. 76.
14. Пушкин, В. Н. Обеспечение качества поверхностного слоя при алмазном выглаживании в условиях интегрированной обработки // Актуальные проблемы в машиностроении – Издательство НГТУ, Новосибирск, № 2. 2015. – С. 169-176.
15. Голяс, А. А. Эффективность применения существующих СОТС при чистовой обработке выглаживанием. // В сборнике: Актуальные вопросы научных исследований сборник научных трудов по материалам IV Международной научно-практической конференции / Научно-исследовательский центр «Диалог». 2016. – С. 15-19.
16. Гайсин, С. Н. Формирование уплотнительных поверхностей трубопроводной арматуры однодисковыми и многодисковыми шлифовальными головками / С. Н. Гайсин, Л. Б. Цвик, В. А. Балакирев // Известия высших учебных заведений. Машиностроение, – Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. № 5. – С. 44-50.
17. Зайдес, С. А. Восстановление уплотнительной поверхности затворных узлов трубопроводной арматуры / С. А. Зайдес, С. Н. Гайсин – Ремонт. Восстановление. Модернизация. – М., – 2017. № 11. – С. 15-21.
18. Снижение теплового фактора при плоском абразивном шлифовании / В. М. Тонконогий [и др.] // Технические науки и технологии – Чернигов 2017. №4 (10). – С. 16-26.
19. Material modifications caused by thermal and mechanical load during / S. Jermolajeva, J. Eppb, C. Heinzela, E. Brinksmeiera // 3rd CIRP Conference on Surface Integrity (CIRP CSI) / Procedia CIRP, 2016. – V.45. – P.43 – 46.
20. Subsurface damage in high-speed grinding of brittle materials considering kinematic characteristics of the grinding process / Changchu Wang, Qihong Fang, Jianbin Chen, Youwen Liu, Tan Jin // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, March 2016, – V.83. – Issue 5–8, pp. 937–948

REFERENCES

1. Zajdes, S. A. Ocenka prochnosti i resursa zapornogo uzla klapanov vysokogo davleniya po rezul'tatam izmereniya tverdosti / S. A. Zajdes, A. N. Mashukov // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Irkutsk 2016 / № 5(112) 2016 - S. 37– 44.
2. Iznosostojkie materialy i tverdye splavy na osnove kobal'ta. Produkty i tekhnologiya svarki. [Elektronnyj resurs <http://www.stechno.ru/upload/iblock/c3a/c3a7fe01acc335dc57bb492c5e98db2b.pdf>]
3. Gurevich, D. F. Raschet i konstruirovaniye truboprovodnoj armatury – L.: Mashinostroenie, 1969.-888s.
4. Gajsin, S. N. Uslovie vnutrennej germetichnosti zatvorov truboprovodnoj armatury / S.N. Gaj-sin, S.A. Zajdes / Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Irkutsk 2014. № 6(89). – S. 45– 49.
5. Mashukov, A. N. Almaznoe vyglazhivanie, kak perspektivnyj metod uprochneniya zatvornyh uzlov truboprovodnoj armatury vysokih parametrov / A. N. Mashukov, S. A. Zajdes / SHkola aspirantov Sb. statej Vse-rossijskoj nauchnoj konferencii. Irkutsk 2017. – S. 9-16.
6. Pogodin, V. K. Zapornye klapany na vysokie parametry ekspluatatsii. Issledovaniya i proekti-rovanie. – Izdatel'stvo Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Bratsk 2016. – 363 s.
7. Sposoby plasticheskogo deformirovaniya [Elektronnyj resurs <http://www.stroj-mash.ru/remont-slesarnomechanicheskoy-obrabotkoy/sposobyi-plasticheskogo-deformirovaniya.html>]
8. Sulima, A. M. Poverhnostnyj sloj i ekspluatacionnye svojstva detalej mashin / A.M. Sulima, V.A. SHulov, YU.D. YAgovkin. – M.: Mashinostroenie, 1988. – 240 s.
9. SHvecov, A. N. Ustrojstvo dlya almaznogo vyglazhivaniya otverstij s nagruzheniem vyglazhivatelya centrobezhnoj siloj / A. N. SHvecov, D. L. Skuratov, S. R. Abul'hanov // Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta, №3(27), 2011. – S. 118-122.
10. Gajsin, S. N. Novyj podhod k ocenke germetichnosti tverdyh sherohovatykh poverhnostej zapor-noj armatury / S. N. Gajsin, S. A. Zajdes / Cb: Tekhnika i tekhnologii mashinostroeniya materialy VII Mezhdunarodnoj

nauchno-tehnicheskoy konferencii. – Izdatel'stvo OmGTU. Omsk 2018. – S. 47-51.

11. Peshkov, P. A. Primenenie almaznogo vyglazhivaniya s cel'yu obespecheniya germetichnosti hromo-vogo pokrytiya porshnej gidrocilindrov / P. A. Peshkov, V. V. Lunin, A. S. Bukatyj - V sbornike: XIV Korolyovskie chteniya, mezhdunarodnaya molodezhnaya nauchnaya konferenciya, posvyashchyonnaya 110-letiyu so dnya rozhdeniya akademika S. P. Korolyova, 75-letiyu KuAI-SGAU-SamGU Samarskogo universiteta i 60-letiyu so dnya zapuska pervogo iskusstvennogo sputnika Zemli: v 2 tomah. Samara 2017. – S. 154-155.

12. ZHarova, I. V. Povyslenie nadezhnosti raboty zapornoj i reguliruyushchej armatury vysokih pa-rametrov. - V sbornike: YUnost' i Znaniya - Garantiya Uspekha - 2015 Sbornik nauchnyh trudov 2-j Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii: V 2-h tomah. Otvetstvennyj redaktor: Gorohov A. A. Kursk 2015. – S. 169-171.

13. Aladyshkina, K. O. Primenenie almaznogo vyglazhivaniya dlya uprochneniya detalej. / ENERGIYA-2018 Trinadcataya mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferenciya studentov, aspirantov i molodyh uchenyh: Materialy konferencii. V 6-ti tomah. Ivanovo 2018. – S. 76.

14. Pushnin, V. N. Obespechenie kachestva poverhnostnogo sloya pri almaznom vyglazhivanii v uslo-viyah integrirovannoj obrabotki // Aktual'nye problemy v mashinostroenii – Izdatel'stvo NGTU, Novosibirsk, № 2. 2015. – S. 169-176.

15. Golyas, A. A. Effektivnost' primeneniya sushchestvuyushchih SOTS pri chistovoj obrabotke vyglazhivaniem. // V sbornike: Aktual'nye voprosy nauchnyh issledovaniy sbornik nauchnyh trudov po materi-alam IV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii / Nauchno-issledovatel'skij centr «Dia-log». 2016. – S. 15-19.

16. Gajsin, S. N. Formirovanie uplotnitel'nyh poverhnostej truboprovodnoj armatury odno-diskovymi i mnogodiskovymi shlifoval'nymi golovkami / C. N. Gajsin, L. B. Cvik, V. A. Balakirev // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Mashinostroenie, – Moskva, MGTU im. N.E. Baumana, 2012. № 5. – S. 44-50.

17. Zajdes, S. A. Vosstanovlenie uplotnitel'noj poverhnosti zatvornyh uzlov truboprovodnoj armatury / S. A. Zajdes, S. N. Gajsin – Remont. Vosstanovlenie. Modernizaciya. – M., – 2017. № 11. – S. 15-21.

18. Snizhenie teplovogo faktora pri ploskom abrazivnom shlifovanii / V. M. Tonkonogij [i dr.] // Tekhnicheskije nauki i tekhnologii – CHernigov 2017. №4 (10). – S. 16-26.

19. Material modifications caused by thermal and mechanical load during / S. Jermolajeva, J. Eppb, C. Heinzela, E. Brinksmeiera // 3rd CIRP Conference on Surface Integrity (CIRP CSI) / Procedia CIRP, 2016. – V.45. – R.43 – 46.

20. Subsurface damage in high-speed grinding of brittle materials considering kinematic characteristics of the grinding process / Changchu Wang, Qihong Fang, Jianbin Chen, Youwen Liu, Tan Jin // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, March 2016, – V.83. – Issue 5–8, pp. 937–948

Поступило в редакцию 11.01.2019

Received 11 January 2019