

Николаенко А. П.

**Восточнокраинский
национальный
университет имени
Владимира Даля**

УДК 621.9.048

**ФОРМИРОВАНИЕ
ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЯ ПРИ
ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКЕ**

В статье представлены результаты исследования влияния вибрационной обработки на станках с U-образной формой контейнера на процесс формирования поверхностного слоя деталей, рассмотрены параметры шероховатости поверхности и их влияние на качество поверхностного слоя, а именно: на маслосъемность и качество подготовки под покрытия.

Results of research by influence of oscillation treatment on the forming process of superficial layer of details on machine-tools with the U-vivid form of container are presented in the article, influence of surface roughness parameters on quality of superficial layer are considered, namely on oil necessity and quality of preparation under coverage.

«Как известно ..., микронеровности при вибрационной обработке образуются в виде следов от многочисленных ударов абразивных частиц по обрабатываемой поверхности. Они многократно перекрываются и накладываются друг на друга, в результате чего образуется микрорельеф поверхности детали».

Шаинский М. Е.

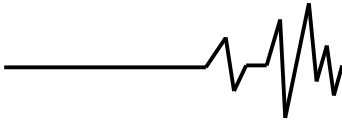
Современное развитие техники сопровождается не только форсированием рабочих процессов и повышением напряженности элементов конструкции, но и одновременным ужесточением требований к качеству и надежности при непрерывном сокращении времени на разработку и создание новых изделий [1, 2, 3]. Это существенно усложняет процесс обеспечения требуемых эксплуатационных свойств выпускаемых машин.

Как известно, изделие характеризуется конструкторскими и технологическими свойствами. Эти свойства определяют эксплуатационные характеристики изделия, подробно отраженные в [4], а именно: его качество и надежность. Надежность изделия (узла, агрегата, системы) обуславливается его безотказностью, ремонтопригодностью, сохраняемостью, долговечностью и пр. Обеспечение надежности выпускаемых изделий является одной из важнейших задач [5, 6, 7, 8]. Управление конструкторскими решениями по обеспечению эксплуатационных свойств представляется затруднительным, так как эти решения зависят от требований

заказчика, от поставленных перед конструктором задач, однако повлиять на эксплуатационные свойства изделий возможно и нужно с помощью выбора технологических методов их обеспечения.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований [9, 10, 11, 12, 13] показывают, что на эксплуатационные свойства деталей машин значительное влияние оказывает качество их рабочих поверхностей. Чтобы обеспечить то или иное эксплуатационное свойство изготавливаемой детали или узла, необходимо обеспечить требуемые, определяющие его характеристики качества обрабатываемых поверхностей. Для решения задачи обеспечения требуемых эксплуатационных свойств следует знать зависимости, связывающие характеристики качества обрабатываемых поверхностей с условиями обработки, причем зависимости должны отражать влияние технологической наследственности.

Для обеспечения надежности изделия помимо оснащения процессов его создания современным оборудованием, инструментом,



приспособлениями, системами контроля следует разрабатывать, как считают многие технологи [5], директивные технологии с выделением процессов, требующих специальных режимов и приемов обработки, а также проводить исследования и устранять отрицательное наследственное влияние технологии путем выбора рациональных методов и режимов обработки, поиска новых методов обработки и, в том числе, применением упрочняющей обработки. Улучшение показателей качества поверхностного слоя деталей при упрочнении приводит к значительному повышению эксплуатационных характеристик деталей [9, 50, 56, 82, 102, 109].

Эксплуатационные показатели работы машин во многом зависят от износостойкости материалов, из которых они изготовлены. Износостойкость характеризуется способностью поверхностных слоев детали сопротивляться разрушению при трении скольжения и качения, а также при микроперемещениях, обусловленных воздействием вибраций [7].

Изыскание материалов и методов упрочнения, обеспечивающих максимальную износостойкость деталей и минимальную интенсивность износа, является основным вопросом в области трения и износа [14].

Наиболее важные эксплуатационные свойства деталей машин (износостойкость, контактная жесткость, плотность соединений и прочность посадок) в значительной мере зависят от их контактного взаимодействия (характера контакта, сближения, фактической площади контакта и динамических характеристик стыков поверхностей) [15, 16]. Особенно это касается машин, работающих в условиях трения. На контактное взаимодействие оказывают влияние геометрические характеристики обработанной поверхности [9, 17, 18].

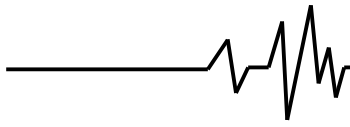
На износостойкость влияют не только высота неровностей, но и их направление, способы формирования поверхностных слоев и их физико-механические свойства [6, 13, 19, 20]. Важной геометрической характеристикой является и направление неровностей после механической обработки резанием, которая значительно и по-разному влияет на износ при одном и том же значении шероховатости поверхности. Наиболее износостойкими оказываются поверхности с одинаковой микрогеометрией во всех направлениях [21, 22]. Такие поверхности получают при обработке ППД свободными абразивами. Микрорельеф поверхностей после ППД

свободными абразивами представляет собой хаотичное расположение микровыступов и микровпадин самой различной конфигурации. Такого рода поверхности называют матовыми. Образование матовых поверхностей обусловлено кратковременным ударно-режущим воздействием множества абразивных частиц, соударяющихся с обрабатываемой поверхностью. При массовом воздействии абразивных зерен все материалы имеют высокоразвитую поверхность с большой удельной площадью без каких-либо направленных рисок, что придает этой поверхности ценные свойства [22, 23, 24, 25]. Одним из методов обработки ППД является вибрационная обработка деталей в U-образных контейнерах без закрепления.

При изучении микрорельефа поверхностей значительный интерес представляют качественные характеристики, так как из работ [9, 10, 11] известно, что поверхности с одинаковой высотой неровностей, но полученные различными методами, могут по-разному сопротивляться действию сил, стремящихся сжать выступы. Такие поверхности разделяются по величинам их опорных площадей. Однако поверхности могут располагать одинаковыми опорными площадями, но их контактная жесткость может все-таки отличаться. Это связано с различными геометрическими характеристиками отдельных микронеровностей (углами наклона профиля, радиусами закругления вершин неровностей и др.) и их расположением по высоте сечения. Так, при островершинных неровностях несущая поверхность мала, при плосковершинных – возрастает [26].

Для оценки несущей способности шероховатости используют: кривую опорной поверхности t_p , построенную в относительных координатах, параметры ее начального участка V и b , средние радиусы выступов ρ_m , локальных выступов ρ , впадин ρ'_m , безразмерный комплекс Δ [11, 26].

По расположению опорных кривых и по значению их параметров проводят сравнение несущей способности шероховатости поверхностей, обработанных различными методами и с разной величиной R_a [26]. В большинстве случаев при традиционных методах обработки фактическая площадь контакта составляет незначительную часть от номинальной. Основное внимание при изучении опорных поверхностей должно быть обращено на рассмотрение начальных



участков опорных кривых [26]. В работах авторов [26, 27] эту часть кривой представляют уравнением

$$t = \varepsilon b^V,$$

где b и V – параметры, зависящие от вида обработки;

ε – относительное расстояние от линии

выступов, $\varepsilon = \frac{y}{R_{\max}}$,

где y – расстояние от линии выступов до рассматриваемого уровня.

Значения V и b при определенном методе механической обработки и классе чистоты позволяют подсчитать относительную опорную площадь при заданном сближении.

Как известно, каждому виду обработки соответствуют свои значения V и b [26]. В пределах каждого вида обработки наблюдается вполне определенная закономерность: чем выше класс чистоты, тем меньше значение V и больше значение b .

Для поверхностей деталей, работающих в условиях смазки, важной эксплуатационной характеристикой является маслосъемность поверхности. Испытания на износостойкость цилиндрических образцов, представленные в работе [28], показали, что при малой шероховатости $R_a = 0,04 \dots 0,16$ мкм поверхности трения впадины микронеровностей имеют малый объем и не обеспечивают возможность удержания смазки. А чем прочнее связь образовавшейся масляной пленки, тем меньше износ поверхности. Прочность связи пленки с поверхностью определяется объемом впадин ее шероховатости, важнейшей характеристикой которых является параметр R_p [28].

Вибрационная обработка позволяет получать поверхности с достаточно низкой шероховатостью, но высокой адсорбционной способностью.

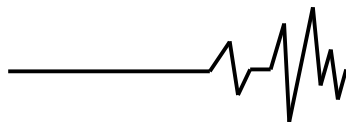
Общеизвестно, что усталостная прочность – это способность деталей машин сопротивляться разрушению в течение определенного промежутка времени при действии на них знакопеременных нагрузок. Многочисленными исследованиями [6, 9, 27, 29, 113] установлено, что очаги разрушения деталей машин от усталости металла зарождаются на их поверхности. Исходя из этого, усталостная прочность деталей машин в значительной степени должна определяться шероховатостью их поверхностей и физико-механическими характеристиками поверхностного слоя [7, 18, 27].

Чем меньше шероховатость поверхности, тем выше усталостная прочность деталей [18, 27]. Неровности, образующиеся на поверхности, являются концентраторами напряжений и служат одной из причин снижения усталостной прочности. Напряжения на дне рисок в 2...2,5 раза превосходят среднюю величину напряжений поверхностного слоя. Причем концентрация напряжений зависит не только от глубины рисок, но и от их формы. Снижение шероховатости особенно сказывается на увеличении усталостной прочности деталей из высокопрочных легированных сталей [31].

Если для увеличения износостойкости поверхностей трения целесообразно оставлять систему канавок от предварительной обработки для увеличения их маслосъемности, то при работе деталей на усталостную прочность необходимо производить их полирование до полного исчезновения следов предварительной обработки [10, 11, 12, 15, 33] – это очевидное противоречие. Износостойкость, как и усталостная прочность, являются важными эксплуатационными характеристиками, которыми необходимо обеспечить деталям машин для повышения их надежности и увеличения срока службы, следовательно, необходимо предложить метод обработки, который удовлетворял бы требованиям одновременного обеспечения данных эксплуатационных показателей. Для этого необходимо устранить с поверхности направленные следы обработки, но в то же время придать ей маслосдерживающую способность.

Учитывая специфические особенности обработки свободными абразивами, приводящие к получению равномерной шероховатости поверхности, отсутствию температурных дефектов и отсутствию растягивающих остаточных напряжений, следует ожидать значительного повышения усталостной прочности обработанных деталей.

Контактная жесткость определяет способность поверхностных слоев деталей, находящихся в контакте, сопротивляться действию сил, стремящихся их деформировать [93]. Контактная жесткость оказывает влияние на точность работы приборов, на точность установки деталей в приспособлениях, на станках, на точность обработки и сборки деталей, то есть на качество машиностроительных изделий. Контактная жесткость в значительной степени зависит от качества поверхностей сопрягаемых деталей и, следовательно, от технологии их изготовления.



Итак, эксплуатационные показатели обработанных поверхностей определяются физическим состоянием поверхностного слоя и его микрорельефом [1, 7, 8, 9, 10]. Что касается анализа состояния поверхностей после применения абразивной обработки без жесткой кинематической связи обрабатываемой детали со станком и инструментом – рабочей средой, то они обладают многочисленными преимуществами по сравнению с поверхностями, обработанными лезвийным инструментом.

К методам абразивной обработки деталей без жесткой кинематической связи обрабатываемой детали с рабочей средой-инструментом и станком относится достаточно распространенный способ обработки – вибрационная обработка. Преимуществами ВиО является простота технологического оборудования, низкая себестоимость, возможность одновременной обработки большого количества деталей сложной пространственной формы, эффективность при повышении качества поверхностного слоя изделий.

Для экспериментального исследования влияния режимов и времени вибрационной обработки на формирование поверхностного слоя изделий в научно-исследовательской лаборатории «Обработка свободными абразивами» Восточнотраинского национального университета было проведено сравнение параметров шероховатости поверхности после различных методов обработки, а именно: после чернового, чистового точения и после вибрационной обработки. Для этого были изготовлены образцы из стали 20, 40Х и углеродистой стали У8, в количестве 40 шт каждой марки стали. Образцы были в виде роликов с наружным диаметром 50 мм, внутренним диаметром 10мм и толщиной 10 мм.

Поверхности 20 образцов были обработаны черновым точением, а поверхности еще 20 образцов – чистовым точением с параметрами шероховатости, приведенными в табл. 1.

Таблица 1

Параметры шероховатости поверхности образцов из стали У8, стали 20, стали 40Х после различных способов подготовки к эксперименту

Способ подготовки образца	Материал образца	Параметр шероховатости, мкм		
		Среднеарифметическое отклонение профиля, R_a , мкм	Максимальная высота выступа, R_p , мкм	Наибольшая высота неровностей профиля, R_{max} , мкм
Точение черновое	Сталь У8	7,69	8,22	45,7
	Сталь 20	7,25	13,25	61,5
	Сталь 40Х	3,48	11,45	32,0
Точение чистовое	Сталь У8	0,94	3,56	8,4
	Сталь 20	2,06	8,57	26,9
	Сталь 40Х	2,61	13	23,5

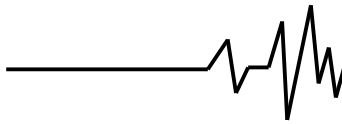
В ходе эксперимента группа, состоящая из 10 образцов после чернового точения и 10 образцов после чистового точения, подвергалась вибрационному шлифованию на станке УВИ-25 в течение 60 мин. Следующая группа образцов, также состоящая из 10 образцов, обработанных черновым точением, и 10 образцов, обработанных чистовым точением, подвергалась вибрационному шлифованию на станке УВИ-25 в течение 120 минут.

После чего образцы подвергались вибрационному полированию на станке ВМИ-1003 в течение 30, 60 и 120 минут по следующей схеме. Образцы после

вибрационного шлифования в течение 60 и 120 минут в количестве по 3 образца каждого вида полировались в РС из стальных шариков в течение 30 минут. Такое же количество образцов полировалась в течение 60 и 120 минут.

После обработки с поверхности образцов записывали 3...5 профилограмм, которые подвергались обработке в вычислительном комплексе.

Визуально поверхности образцов выглядели следующим образом. У группы образцов из сталей 20, 40Х и У8, обработанных черновым точением, наблюдались на



поверхности всех образцов риски, как следы от резца.

После виброшлифования, поверхность приобрела матовый оттенок, однако остались риски от предыдущей обработки.

После виброполирования поверхность была полностью матовой.

Образцы из тех же марок сталей, обработанных чистовым точением, имели на поверхности направленные следы инструмента.

После виброшлифования и виброполирования поверхность имела равномерный матовый оттенок.

Воспользовавшись параметрами шероховатости поверхности, найденными из полученных профилограмм, оценим микрогеометрию поверхностного слоя образцов. Для этого на основании анализа факторов, влияющих на эксплуатационные свойства изделий, были выбраны следующие параметры: среднеарифметическое отклонение профиля R_a , максимальная высота неровности R_{max} , максимальная высота выступа R_p , средний шаг неровности S_m , относительная опорная кривая профиля t_p на уровне 33%.

Рассмотрим влияние времени и способа финишной обработки на среднее

арифметическое отклонение профиля R_a и максимальную высоту выступа (табл. 2, 3).

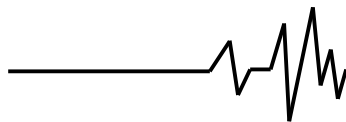
Как видно из табл. 2 – 3, произошло значительное уменьшение параметров R_a , R_p на образцах, обработанных черновым точением. Это объясняется тем, что в процессе вибрационной обработки, кроме сошлифовывания во время операции виброшлифования, происходило смятие вершин микронеровностей в процессе виброполирования.

Также из анализа профилограмм, полученных на профилометре-профилографе с информационно-вычислительным комплексом, после обработки проводилось измерение шероховатости образцов на профилометре с информационно-вычислительным комплексом, который применяется для анализа и измерения параметров шероховатости поверхности деталей (рис. 1), проводилось сравнение среднего шага неровностей профиля S_m , а также относительной опорной длины профиля t_p , представляющего собой отношение опорной длины профиля к базовой длине. Средний шаг неровностей профиля S_m свидетельствует об увеличении оснований отдельных неровностей, а, следовательно, и их радиусов закругления.

Таблица 2

Влияние длительности виброшлифования и виброполирования на параметры шероховатости образцов из стали У8, стали 20, стали 40Х, предварительно обработанных черновым точением

Материал образца	Время виброшлифования, мин	Время виброполирования, мин	Параметры шероховатости, мкм		
			R_a	R_p	R_{max}
Сталь У8	60	30	2,3	6,54	20,45
		60	1,8	5,77	16,87
		120	1,36	3,25	10,75
	120	30	2,15	3,63	18,5
		60	1,11	3,37	15,64
		120	1,02	2,79	9,39
Сталь 20	60	30	4,00	9,6	40,35
		60	2,51	8,47	28,07
		120	2,31	5,09	20,67
	120	30	3,04	9,47	38,00
		60	2,89	7,44	20,05
		120	2,05	4,5	16,8
Сталь 40Х	60	30	2,68	7,93	20,08
		60	1,44	4,7	11,02
		120	1,39	4,37	9,25
	120	30	1,57	5,91	18,09
		60	1,25	4,34	10,52
		120	1,13	3,6	8,43



Таблиця 3

Влияние длительности виброшлифования и виброполирования на параметры шероховатости образцов из стали У8, стали 20, стали 40Х, предварительно обработанных чистовым точением

Материал образца	Время виброшлифования, мин	Время виброполирования, мин	Параметры шероховатости, мкм		
			Ra	Rp	Rmax
Сталь У8	60	120	0,8	2,71	6,5
	120		0,6	2,25	5,37
Сталь 20	60	120	1,8	5,83	7,31
	120		1,12	3,30	8,27
Сталь 40Х	60	120	1,18	3,98	7,93
	120		1,11	3,9	7,67

Результаты измерений в зависимости от способа и времени обработки представлены в табл. 4 – 6.

По данным сравнительного анализа видно возрастание шаговых параметров шероховатости и относительной опорной кривой профиля в зависимости от вида и времени виброобработки, что свидетельствует о положительном ее влиянии на геометрические показатели обработанной поверхности.

Вместе с тем, оценка по опорной длине профиля не дает достаточно полного представления об опорной площади. Поэтому для более полной оценки изменения опорных площадей образцов после применения вибрационной обработки были дополнительно рассчитаны следующие показатели: параметры начального участка кривой опорной поверхности v и b , средний радиус выступов шероховатости Q_{cp} . Расчеты выполнялись по следующим зависимостям.

Определение среднего радиуса микронеровностей проводилось по [18]:

$$Q_{cp} = \frac{9Ra^2 S_m^2}{128(Rp - 0,5Ra)^3},$$

где S_m – средний шаг неровности, мкм.

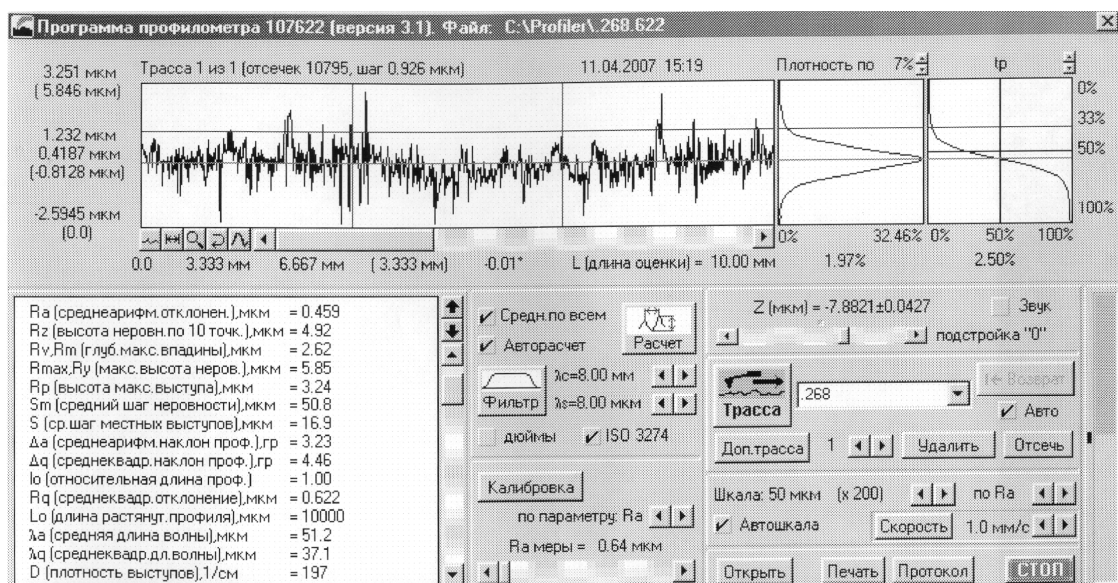
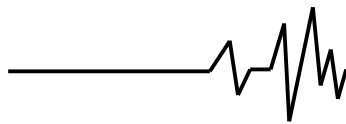
Что касается параметра опорной кривой v , то экспериментальные исследования подтвердили выводы, сделанные авторами [17, 26, 17] о том, что с уменьшением

шероховатости и увеличением опорной площади уменьшается показатель v . А именно: для образцов из стали У8 после предварительной обработки значение v составило 1,4...1,9, а после вибрационной обработки находилось в пределах 0,6...0,8.

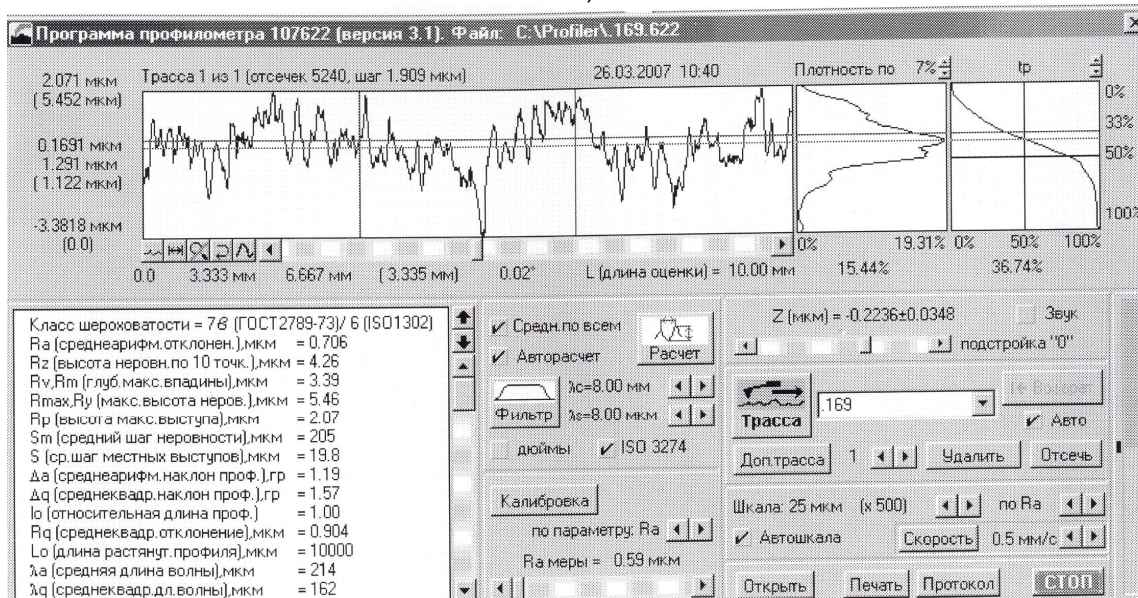
Параметр v для образцов из стали 20 до вибрационной обработки принимал среднее значение 1,5, а после вибрационного шлифования и полирования изменился до 0,9.

Аналогично наблюдалось изменение v и для образцов из стали 40Х с 1,7...1,4 после предварительной обработки до 0,4...0,9 после вибрационной в зависимости от времени обработки.

Средний радиус выступов шероховатости Q_{cp} является одной из важнейших характеристик при расчете контактной жесткости, которая определяет способность поверхностных слоев деталей, находящихся в контакте, сопротивляться действию сил, стремящихся их деформировать [18]. Контактная жесткость оказывает влияние на точность работы приборов, на точность установки деталей в приспособлениях, на станках, на точность обработки и сборки деталей, то есть на качество машиностроительных изделий. Значение контактной жесткости важно и при изготовлении ответственных деталей с микронной точностью, а также при определении фактической площади касания, знание которой необходимо для расчета сил трения, оценки влияния способа обработки поверхностей на износ деталей, подбора износостойких пар трения, расчета прочности



а)



б)

Рис. 1. Пример профилограммы поверхности образца из стали У8 после различных методов обработки:
а) после точения;
б) после вибрационной обработки

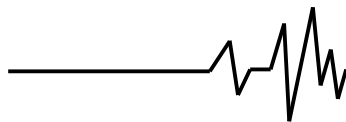


Таблица 4
Параметры шероховатости поверхности образцов из стали У8, стали 20, стали 40Х после различных способов подготовки к эксперименту

Способ подготовки образца	Материал образца	Параметр шероховатости, мкм	
		Шаг неровностей S_m , мкм	Относительная опорная длина профиля t_p , мкм
Точение черновое	Сталь У8	96,2	15,36
	Сталь 20	311	21,79
	Сталь 40Х	178,5	38,11
Точение чистовое	Сталь У8	50,8	9,48
	Сталь 20	137,5	24,62
	Сталь 40Х	130	7,51

Таблица 5
Влияние длительности виброшлифования и виброполирования на параметры шероховатости образцов из стали У8, стали 20, стали 40Х, предварительно обработанных черновым точением

Материал образца	Время виброшлифования, мин	Время виброполирования, мин	Параметры шероховатости, мкм	
			S_m	t_p
Сталь У8	60	30	187	27,49
		60	293	34,40
		120	384	57,18
	120	30	266	16,46
		60	271	32,06
		120	281	43,33
Сталь 20	60	30	400	53,68
		60	531,5	58,89
		120	684,5	75,77
	120	30	409	30,93
		60	611	41,75
		120	698	88,48
Сталь 40Х	60	30	209,5	37,01
		60	324	45,49
		120	460	68,14
	120	30	265	32,20
		60	292	32,44
		120	314	40,78

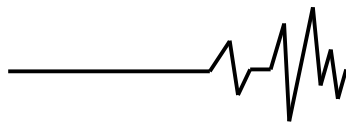


Таблица 6

Влияние длительности виброшлифования и виброполирования на параметры шероховатости образцов из стали У8, стали 20, стали 40Х, предварительно обработанных чистовым точением

Материал образца	Время виброшлифования, мин	Время виброполирования, мин	Параметры шероховатости, мкм	
			S_m	t_p
Сталь У8	60	120	230	21,3
	120		244	36,74
Сталь 20	60	120	292,5	31,72
	120		308	41,41
Сталь 40Х	60	120	291	19,59
	120		316,5	27,35

сопряжений с неподвижными посадками, расчета плотности соединений.

Математическая обработка результатов исследований [18] с использованием множественного корреляционного анализа показывает, что между параметрами контактной жесткости и характеристиками качества сопрягаемых поверхностей имеется тесная связь. Контактная жесткость в основном определяется значением поверхностной микротвердости и геометрическими характеристиками – R_a , R_z , радиусами закругления вершин неровностей, параметрами волнистости.

Контактная жесткость также зависит от среднего шага неровности S_m , шероховатости R_a и относительной опорной длины профиля. Результаты вычислений радиусов кривизны вершин неровностей представлены в табл. 7-9.

У образцов из стали У8 после черного точения и последующей вибрационной обработки в течение двух часов в среде АН-2 и двух часов полирования в среде стальных шариков наблюдалось снижение

шероховатости поверхности R_a на 87%, наибольшей высоты неровностей профиля R_{max} – на 80%. У образцов после чистового точения и последующей вибрационной обработки в течение 4 часов параметр R_a снизился на 20%, а R_{max} на 36%.

Происходило снижение высоты максимального выступа R_p в 2,9 раза для образцов после предварительного черного точения, прошедших операции вибрационного шлифования и полирования и в 1,58 раза для образцов после предварительного чистового точения. Средний шаг неровностей S_m для образцов после чистового и черного точения и последующей вибрационной обработки увеличился соответственно в 4,8 и в 2,93 раза. Происходило увеличение относительной опорной длины профиля t_p для образцов после чистового и черного точения и последующей вибрационной обработки соответственно в 3,87 и в 2,63 раза.

Таблица 7

Параметры шероховатости поверхности образцов из стали У8, стали 20, стали 40Х после различных способов подготовки к эксперименту

Способ подготовки образца	Материал образца	Средний радиус микронеровностей Q_{cp} , мкм
Точение черновое	Сталь У8	34,85
	Сталь 20	248,923
	Сталь 40Х	32,044
Точение чистовое	Сталь У8	30,74
	Сталь 20	13,366
	Сталь 40Х	7,71

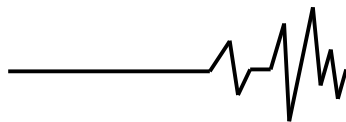


Таблица 8

Влияние длительности виброшлифования и виброполирования на параметры шероховатости образцов из стали У8, стали 20, стали 40Х, предварительно обработанных черновым точением

Материал образца	Время виброшлифования, мин	Время виброполирования, мин	Средний радиус микронеровностей Q_{cp} , мкм
Сталь У8	60	30	196,661
		60	264,990
		120	440,987
	120	30	183,258
		60	483,888
		120	789,475
Сталь 20	60	30	705,900
		60	1099,046
		120	1029,535
	120	30	279,476
		60	1060,453
		120	1432,773
Сталь 40Х	60	30	37,743
		60	217,281
		120	248,001
	120	30	123,193
		60	328,156
		120	332,724

Таблица 9

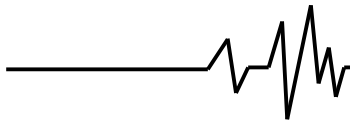
Влияние длительности виброшлифования и виброполирования на параметры шероховатости образцов из стали У8, стали 20, стали 40Х, предварительно обработанных чистовым точением

Материал образца	Время виброшлифования, мин	Время виброполирования, мин	Средний радиус микронеровностей Q_{cp} , мкм
Сталь У8	60	120	168,221
	120		428,919
Сталь 20	60	120	184,08
	120		249,278
Сталь 40Х	60	120	222,696
	120		296,220

Наблюдалось значительное увеличение среднего радиуса скругления выступов шероховатости, а именно: для группы образцов после чернового точения и вибрационной обработки данный показатель увеличивается в 22,65 раза, у группы образцов после чистового точения – в 13,92 раза после применения операций вибрационного шлифования и полирования. У образцов из стали 20 после чернового точения и последующей вибрационной обработки в течение двух часов в среде АН-2 и двух часов полирования в среде стальных шариков наблюдалось снижение шероховатости поверхности R_a в 3,5 раза, наибольшей высоты неровностей профиля

R_{max} – на 73%. У образцов после чистового точения и последующей вибрационной обработки в течение 4 часов параметр R_a снизился в 1,8 раз, а R_{max} – на 70%. Происходило снижение высоты максимального выступа R_p для образцов после чернового и чистового точения, прошедших операции вибрационного шлифования и полирования, соответственно в 2,89 и в 2,59 раза.

Средний шаг неровностей S_m для образцов после чистового и чернового точения и последующей вибрационной обработки



увеличился соответственно в 2,24 и в 2,24 раза. Происходило увеличение относительной опорной длины профиля t_p для образцов после черного и чистового точения после последующей вибрационной обработки соответственно в 4,06 и в 1,68 раза.

Также наблюдается значительное увеличение радиуса скругления выступов шероховатости поверхности, а именно: для группы образцов после черного точения и вибрационной обработки – в 5,76 раз, а для группы образцов после чистового точения и вибрационной обработки – в 18,65 раз.

У образцов из стали 40X после черного точения и последующей вибрационной обработки в течение двух часов в среде АН-2 и двух часов полирования в среде стальных шариков наблюдалось снижение шероховатости поверхности R_a в 3,52 раза, наибольшей высоты неровностей профиля R_{max} – на 74%. У образцов после чистового точения и последующей вибрационной обработки в течение 4 часов параметр R_a снизился в 2,35 раз, а R_{max} – на 67%.

Происходило снижение высоты максимального выступа R_p для образцов после черного и чистового точения, прошедших операции вибрационного шлифования и полирования, соответственно в 3,18 и в 2,43 раза.

Средний шаг неровностей S_m для образцов после чистового и черного точения после вибрационной обработки увеличился соответственно в 2,43 раза и в 2,57 раза. Происходило увеличение относительной опорной длины профиля t_p для образцов после черного и чистового точения после последующей вибрационной обработки соответственно в 3,64 и в 1,78 раза. Наблюдалось значительное увеличение радиуса скругления выступов шероховатости поверхности, а именно: для группы образцов после предварительного черного точения – в 10,38 раза, а для группы образцов после предварительного чистового точения – в 38,42 раза. Проведенные экспериментальные исследования показывают уменьшение параметра опорной кривой v после вибрационной обработки, что свидетельствует об увеличении опорной площади поверхности образцов, прошедших вибрационное шлифование и полирование. Также это свидетельствует об увеличении радиуса скругления вершин неровностей у поверхностей после вибрационной обработки.

Положительное изменение качественных параметров шероховатости поверхности после применения вибрационной обработки свидетельствует о создании нового микрорельефа поверхности детали, который характеризуется увеличением несущей способности профиля, что благоприятно сказывается на контактном взаимодействии, увеличением адсорбционной способности, что важно при подготовке деталей под защитные покрытия и для общего улучшения эксплуатационных характеристик детали.

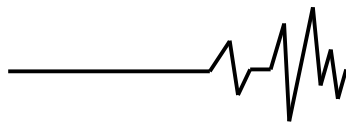
Маслоемкость поверхности представляет собой способность поверхности удерживать в микровпадинах жидкость с тем, чтобы при давлении на нее эта жидкость не вытекала за границы лунки. Эта способность поверхности различна у микрорельефов, полученных разными методами. Особенность микрорельефа после вибрационной обработки заключается в том, что при обработке поверхности след, оставляемый каждой гранулой, отличается друг от друга при каждом последующем контакте с поверхностью. Каждая гранула имеет свою траекторию движения, отличную от траектории движения соседней гранулы. Образуется матовая поверхность с лунками, изолированными друг от друга. Повышенная маслоемкость такой поверхности способствует созданию слоя «смазки», обеспечивающей жидкостное трение, и, как следствие, предохраняет поверхность от изнашивания.

Маслоемкость поверхности определяли согласно ГОСТ 9.302-88 «Методы контроля маслоемкости покрытий», метод основан на определении количества масла, адсорбированного поверхностью.

Для этого эксперимента были подготовлены образцы из сталей 20, 40X и У8 с поверхностным слоем, полученным различными методами, а именно: шлифованием и вибрационной обработкой на станках УВИ-25 (операция виброшлифования) и ВМИ-1003 (операция виброполирования) с расположением вибровозбудителя под углом 45° .

В экспериментах при измерении применялось масло с кинематической вязкостью $(2,5...3,5) \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ при температуре 25°C .

Образцы взвешивались, погружались в масло, нагретое до температуры 130°C , и выдерживались в нем до температуры $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$. Затем образцы извлекались, с их поверхности удалялся избыток масла фильтровальной бумагой, и они взвешивались.



Удельную маслосеомкость вычисляли по формуле

$$M = \frac{m - m_1}{S},$$

где M – удельная маслосеомкость, мг/мм²

m - масса образца после погружения в масло, мг;
 m_1 - масса образца до погружения в масло, мг;
 S - площадь поверхности образца, мм².

Таблица 10

Средняя масса образцов до и после нанесения масла

Вид обработки	Материал образца	Средняя масса образцов, г	
		до нанесения масла	после нанесения масла
Шлифование	Сталь У8	141, 2000	141, 2040
	Сталь 20	72, 9610	72, 9980
	Сталь 40Х	75, 7100	75, 7300
Виброобработка	Сталь У8	83, 0000	83, 0100
	Сталь 20	71, 3110	71, 3555
	Сталь 40Х	147, 3410	147, 3925

Как видно из результатов, приведенных в табл. 10, масса образцов после нанесения масла увеличилась как у образцов после вибрационной обработки, так и у образцов после шлифования. Для образцов, обработанных шлифованием, разница в массе составила для образцов из стали У8 – 0,004 г, из стали 20 – 0,037 г, из стали 40Х – 0,02 г. Для образцов после вибрационной обработки

разница составила для образцов из стали У8 - 0,01 г, из стали 20 – 0,0445 г, из стали 40Х – 0,0515г.

Для более объективного представления о влиянии различных методов обработки на маслосеомкость поверхностного слоя производили расчет удельной маслосеомкости поверхности образцов. Результаты вычисления маслосеомкости представлены в табл. 11.

Таблица 11

Маслосеомкость образцов после различных видов обработки

Марка стали	Маслосеомкость, мг/мм ²	
	Вид обработки	
	шлифование	виброобработка
Сталь У8	0,0143	0,462
Сталь 20	1,709	2,055
Сталь 40Х	0,924	1,848

Как видно из табл. 11, удельная маслосеомкость образцов, обработанных ВиО выше, чем у образцов, обработанных шлифованием, а именно: для образцов из стали У8 на 97%, из стали 20 – на 17%, из стали 40Х – на 50%. В среднем вибрационная обработка увеличивает удельную маслосеомкость поверхности на 54,6%, что обеспечивается следующим.

Вибрационная обработка изменяет микрорельеф поверхности изделия, создает множество несвязанных между собой впадин,

которые являются маслосеомкими резервуарами, в отличие от шлифования, при котором наблюдаются направленные следы от зерен в виде рисок, по которым нанесенное масло растекается по поверхности. На профилограмме поверхности, многократно увеличенной после вибрационной обработки (рис. 2), во впадине микрорельефа имеются углубления, лунки, сопутствующие формированию развитого, гидроемкого микрорельефа поверхности, что совпадает с выводами авторов работ [21, 22, 23, 33].

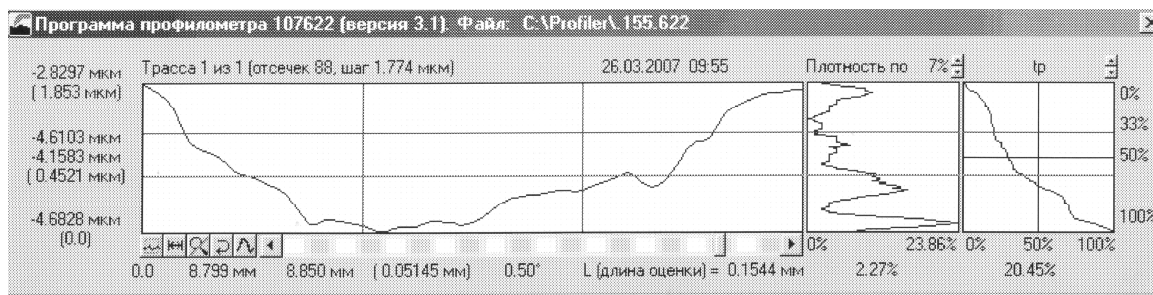


Рис. 2. Профиллограмма поверхности после вибрационной обработки

Также в НИЛ «ОСА» ВНУ им. В. Даля оценивалось влияние вибрационной обработки на качество покрытия, а именно: прочность сцепления покрытия с поверхностями образцов, обработанных шлифованием и виброшлифованием. Для этого группа образцов из сталей 20, 40Х и У8 в количестве 10 образцов для каждой марки стали обрабатывалась шлифованием, а 10 образцов подвергались виброшлифованию на станке УВИ-25 с расположением вибровозбудителя под углом 45° в среде боя шарошлифовальных кругов АН-2 в течение 60 минут и затем вибрационному полированию на станке ВМИ-1003 в среде стальных шариков в течение 30 минут.

На поверхность образцов наносилось гальваническое цинковое покрытие с последующим пассивированием. Толщина покрытия составляла 6 мкм. В состав пассивирующего покрытия входили серная и азотная кислоты, оксид хрома. Толщину покрытия измеряли толщиномером. Для оценки прочности сцепления цинкового покрытия использовались методы контроля по ГОСТ 9.302-88, в соответствии с которым применяли методы нанесения сетки царапин и нагрева.

Суть метода нанесения сетки царапин заключается в следующем. На поверхность контролируемого покрытия острием индентора с углом при вершине 30° из сплава ВК6, твердость которого выше твердости покрытия, наносили три параллельных риски с расстоянием между ними от 2 до 3 мм, а также перпендикулярно к ним три параллельных риски. Риски наносили в одном направлении, глубиной до основного металла. При качественной подготовке поверхности под покрытие отслаивания между линиями и в сетке квадратов должно отсутствовать.

После нанесения сетки царапин на поверхности образца, подготовленной шлифованием, наблюдалось шелушение и отслаивание покрытия по краям царапин. На

поверхности образцов после вибрационной обработки такого отслаивания не наблюдалось.

При проведении контроля методом нагрева образец с покрытием нагревают в соответствии с ГОСТ 9.302-88, до температуры 190°C , выдерживают при данной температуре в течение 1 ч и затем охлаждают на воздухе. После охлаждения на поверхности не должно быть вздутий или отслаиваний покрытия.

Как показали исследования, подготовка поверхности к нанесению покрытия вибрационной обработкой обеспечивает более высокую прочность сцепления покрытия с основным материалом по сравнению с подготовкой поверхности шлифованием. И это вновь объясняется тем, что микрорельеф после виброобработки характеризуется множеством изолированных впадин, что позволяет материалу покрытия проникать в структуру основного металла детали (образца), обеспечивая тем самым лучшую прочность сцепления покрытия, которая является одним из основных показателей качества покрытий.

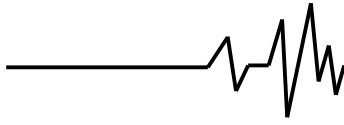
Выводы

1. Вибрационная обработка обеспечивает существенное снижение шероховатости поверхности в зависимости от времени обработки и независимо от первоначального состояния обработанной поверхности, не менее чем на 2 класса, при бесшумном станке, его амплитудно-частотных характеристиках и рабочей среде.

2. При вибрационной обработке происходит смятие вершин шероховатости, возрастает опорная длина профиля на уровне 10...40 % в среднем в 2,6 раза, увеличиваются радиусы вершин выступов в среднем в 18,3 раза, что ведет к увеличению площади контакта сопряженных поверхностей и к повышению износостойкости до 15...20 %.

3. Поверхности после вибрационной обработки обладают способностью прочно удерживать металлические покрытия.

4. В процессе вибрационной обработки удельная маслосъемность поверхности после



ВиО увеличивается в среднем на 54,6% по сравнению с поверхностями после традиционного шлифования, за счет образования матовой поверхности.

Литература

1. Волков И.В. Влияние физико-механических характеристик материала на его износостойкость / И.В. Волков, Ю.Ю. Дегтярева, А.П. Николаенко // Вестник двигателестроения. – 2006. – № 4. – С. 126 – 130.

2. Проволоцкий А.Е. Разработка интегрированных технологий финишной обработки / А.Е. Проволоцкий, С.Л. Негруб // Резание и инструмент в технологических системах. – 2007. – Вып.73. – С. 257 – 262.

3. Дегтярева Ю.Ю. Методи підвищення експлуатаційних властивостей виробів / Ю.Ю. Дегтярева, М.О. Калмыков, Л.М. Лубенська, А.П. Ніколаєнко // Машинознавство. – 2007. – Вип. №4 – С.33 – 43.

4. Дегтярева Ю.Ю. Методи підвищення експлуатаційних властивостей виробів / Ю.Ю. Дегтярева, М.О. Калмыков, Л.М. Лубенська, А.П. Ніколаєнко // Машинознавство. – 2007. – Вип. №4 – С.33 – 43.

5. Богуслаев В.А. Основы технологии машиностроения: учебное пособие [для студентов машиностроительных специальностей высших учебных заведений] / Богуслаев В.А., Цыпак В.И., Яценко В.К. – Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2003. – 336 с.

6. Восстановление и повышение износостойкости и срока службы деталей машин: учебное пособие / [Александров А.Г., Бережный С.П., Билоник И.М. и др.]. – Запорожье: ЗГТУ, 1999. – 311с.

7. Рыжов Э.В. Качество поверхности и контакт деталей машин / Рыжов Э.В., Демкин Н.Б. – М.: Машиностроение, 1981. – 244 с.

8. Решетов Д.Н. Надежность машин: учеб. пособие [для машиностр. спец. вузов] / Решетов Д.Н., Иванов А.С., Фадеев В.З. – М.: Высш. шк., 1988. – 237 с.

9. Демкин Н.Б. Контактное покрытие шероховатых поверхностей / Демкин Н.Б. – М.: Машиностроение, 1970 – 227с.

10.Кобалов В.С. Влияние шероховатости и твердости на трение и износ / Кобалов В.С. – М.: Машиностроение, 1997. – 110 с.

11.Рыжов Э.В. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин / Рыжов Э.В., Суслов А.Г., Федоров В.П. – М.: Машиностроение, 1979 – 176 с.

12.Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД. Лопатки компрессора вентилятора. Часть I / Богуслаев В.А., Муравченко Ф.И., Жеманюк П.Д. и др. – Запорожье: ООО «Мотор Сич», 2003. – 396 с.

13.Тылкин М.А. Повышение долговечности деталей металлургического оборудования / Тылкин М.А. – М.:Металлургия,1971. – 210 с.

14.Тамаркин М.А. Исследование процесса формирования шероховатости поверхности при виброабразивной обработке (ВиО) / М.А. Тамаркин // Прогрессивная отделочно-упрочняющая технология. – 1982. – С. 19 – 25.

15.Технологические возможности вибрационной обработки деталей на станках с U-образной формой контейнера / И.В. Волков, Ю.Ю. Дегтярева, М.А. Калмыков, А.П. Николаенко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенко «Технологічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні». – 2006. – Вип. 42. – С. 167 – 173.

16.Рыжов Э.В. Контактное покрытие твердых тел при статических и динамических нагрузках / Рыжов Э.В., Колесников Ю.В., Суслов А.Г. – Киев: Наук. думка, 1982. – 169 с.

17.Качество машин: справочник в 2 т. / [Под ред. Сулоса А.Г.]. – М.: Машиностроение, 1995–– Т.2. / А.Г. Сулос, Ю.В. Гуляев, А.М. Дальский и др. – 1995. – 430 с.

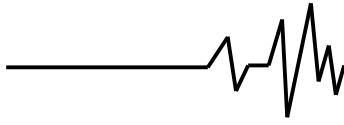
18.Рыжов Э.В. Контактная жесткость деталей машин / Рыжов Э.В. – М."Машиностроение", 1966. – 193 с.

19.Бабичев А.П. Физико-технологические основы методов обработки: учебное пособие для вузов / Бабичев А.П. – Ростов-на-Дону: «Феникс», 2006. – 410 с.

20.Харламов Ю.А. Основы технологии восстановления и упрочнения деталей машин / Харламов Ю.А, Будагьянц Н.А. – Луганск: ВНУ им. В. Даля, 2003. – 496 с.

21.Проволоцкий А.Е. Струйно-абразивная обработка деталей машин / А.Е. Проволоцкий.– Киев: Техника, 1989. – 276 с.

22.Проволоцкий А.Е. Формирование развитых микрорельефов поверхностей / А.Е. Проволоцкий, С.П. Лапшин, С.Л. Негруб, В.М. Ласкин // Резание и инструмент в технологических системах. – 2004. – Вып.66.— С. 153 – 162.



23.Бабичев А.П. Основы вибрационной технологии / Бабичев А.П. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 1999. – 624 с.

24.Отделочно-упрочняющая обработка деталей многоконтактным виброударным инструментом / [А.П. Бабичев, П.Д. Мотренко, И.А. Бабичев и др.]. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2003. – 192 с.

25.Подольский М.А. Оценка эффективности упрочнения деталей динамическими методами ППД на основе энергетического критерия: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / Подольский Максим Александрович. – Ростов-на-Дону, 2005. – 146 с.

26.Справочник технолога-машиностроителя: в 2х т. / [Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова]. – М.: Машиностроение, 1986– – Т. 2. – 1986. – 496 с.

27.Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных свойств деталей машин и их соединений / Суслов А.Г., Федоров В.П., Горленко О.А. и др. – М.: Машиностроение, 2006. – 448 с.

28.Рыжов Э.В. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин / Рыжов Э.В. – Киев: Наук. думка, 1984 – 271 с.

29.Крагельский И.В. Основы расчетов на трение и износ / Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов И.Н. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.

30.Харламов Ю.А. Физика, химия и механика поверхности твердого тела: учебное пособие / Харламов Ю.А, Будагьянц Н.А. – Луганск: ВУГУ, 2000. – 624 с.

31.Опальчук А.С. Теоретичні та технологічні основи підвищення контактної втомлювальної міцності сталей / А.С. Опальчук // Вібрації в техніці та технологіях. – 2004. – №3. – С. 31 – 34.

32.Копылов Ю.Р. Виброударное упрочнение / Ю.Р. Копылов. – Воронеж: ВИМВД, 1999. – 384 с.

33.Негруб С.Л. Повышение эффективности финишной обработки эластичными полимер-абразивными инструментами: дис. ... канд. тех. наук: 05.02.08 / С.Л. Негруб. – Днепропетровск, 2008. – 210 с.