

DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-6-1262-1272

RESEARCH OF SURFACE ROUGHNESS INFLUENCE ON WARE RESISTANT CHARACTERISTICS OF SHIP MACHINERY AND MECHANISMS PARTS' SURFACE LAYER PROCESSED WITH DIFFERENT METHODS

Z. Z. Sharifov, C. M. Aliyev, A. M. Guliyev

Azerbaijan State Marine Academy, Baku, Azerbaijan Republic

The article deals with the influence of the surface roughness, processed by different technological methods to ware resistant characteristics' of the surface layer of ship machines and details high-precision parts. As the technological methods of processing parts was used rotary cutting, grinding with vibration damping, rotating honing, lapping with metered readout surface layer material and the flexible rolling.

It is established that the use of a rotary cutting method as a finishing treatment forms not only additional deformed high ware resistant surface layer of parts, at the same time is provided high productivity. The process of grinding with vibration damping significantly reduces the transfer of the abrasive particles on the treated surface, improves accuracy, quality and surface layer ware resistant characteristics. During the rotary honing discontinuity of single grain cutting is combined with continuity of chip formation process, practically no metal buildup to the working surface of the cutting part of the tool occurs, the temperature in the cutting area is reduced, which brings to get details with surface layer of high-quality ware resistant. During the lapping of the surface layer material the optimum value of the highly deformable surface layer thickness is provided. Because of the possible regulation abrasive action to the treated surface, reliable ware resistant layer could be obtained. Flexible rolling enables the implementation of non-rigid thin-walled parts processing with stable, secure, adjustable forces without degrading their accuracy, quality and ware resistant characteristics.

Keywords: ship machines and mechanisms, parts, processing, methods, roughness, surface layer, wear.

For citation:

Sharifov, Zahid Z., Chingiz M. Aliyev, and Alimardan M. Guliyev. "Research of surface roughness influence on ware resistant characteristics of ship machinery and mechanisms parts' surface layer processed with different methods." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 9.6 (2017): 1262–1272. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-6-1262-1272.

УДК 621-192; 621.81-192

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ НА ИЗНОС ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ СУДОВЫХ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ, ОБРАБОТАННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ

З. З. Шарифов, Ч. М. Алиев, А. М. Кулиев

Азербайджанская Государственная морская академия,
Баку, Азербайджанская Республика

В статье рассматриваются вопросы влияния шероховатости поверхности, обработанных различными технологическими методами на износ поверхностного слоя высокоточных деталей судовых машин и механизмов. В качестве технологических методов обработки деталей использовано ротационное резание, шлифование с виброгашением, ротационное хонингование, притирка с дозированным съемом материала поверхностного слоя и эластичное раскатывание.

Установлено, что применение метода ротационного растачивания в качестве финишной обработки формирует на поверхности деталей дополнительно деформированный высокоизносостойкий поверхностный слой одновременно обеспечивая высокую производительность. Процесс шлифования с виброгашением существенно снижает перенос абразивных частиц на обрабатываемую поверхность, повышает точностные и качественные показатели поверхностного слоя. При ротационном хонинговании прерывистость резания единичных зерен сочетается с непрерывностью процесса стружкообразования. Налипания металла на рабочую поверхность режущей части инструмента практически не происходит,

температура в зоне резания снижается, что приводит к получению высококачественного износостойкого поверхностного слоя деталей. При притирке с дозированным съемом материала поверхностного слоя обеспечивается оптимальная величина толщины сильно деформируемого поверхностного слоя из-за возможности регулирования абразивного воздействия на обрабатываемую поверхность, которая способствует получению надежного износостойкого слоя. Эластичное раскатывание позволяет осуществить обработку нежестких тонкостенных деталей стабильными, уравновешенными, регулируемыеми силами, не ухудшая их точностные, качественные и износостойкостные характеристики.

Ключевые слова: судовые машины и механизмы, детали, обработка, методы, шероховатость, поверхностный слой, износ.

Для цитирования:

Шарифов З.З. Исследование влияния шероховатости поверхности на износ поверхностного слоя деталей судовых машин и механизмов, обработанных различными методами / З.З. Шарифов, Ч.М. Алиев, А.М. Кулиев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 6. — С. 1262–1272. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-6-1262-1272.

Введение

Показатели надежности и долговечности оцениваются и выбираются с учетом основных характеристик судовых машин и механизмов, режимов их работы, условий эксплуатации и т. д. Основной и наиболее универсальной характеристикой является вероятность безотказной работы объекта, под которой понимается объективная возможность того, что в пределах заданной наработки отказа объекта не возникает [1].

Суда различных назначений характеризуются многообразием различных машин и оборудования, механизмов и агрегатов, приспособлений и инструментов, надежность которых является основным фактором как при обеспечении безопасности людей и их имущества, так и при выполнении поставленных разнообразных технологических задач.

Судовые машины и механизмы, существенно различаются по назначению, и ими выполняются многочисленные разнообразные технологические задачи. Судовые машины и механизмы работают в различных атмосферных и климатических условиях. На их основные узлы и детали существенные влияния оказывают влага, тепло, холод, пыль песка, свет, радиация, пониженное и высокое давление, соли различных типов, морская вода и т. д. На работоспособность судовых машин и механизмов могут оказать влияние также непредвиденные случайные процессы, зависящие от перегрузки и условий эксплуатации. Существенное влияние на надежность судовых машин и механизмов оказывают износостойкость их ответственных деталей и материалы, из которых они изготовлены.

Износ является результатом силового взаимодействия поверхностей трения и является одним из основных факторов для анализа физико-механических процессов, которые происходят на поверхностном слое деталей машин, что непосредственно связано с величиной площадки контакта и давлением, влияющим на эту площадь.

Методы проведения исследований и используемые материалы

Автором [2] рассматривается конкретная задача теории упругости для шероховатых поверхностей, принимается линейный закон деформирования микронеровностей поверхностного слоя, подробно излагаются закономерности деформирования и приводятся основные зависимости. Исследованиями [3] – [5] установлено, что зависимость между сжимающим усилием и деформацией микронеровностей носит нелинейный характер. В работе [6] уравнения поверхностей взаимодействующих тел вала и втулки до деформации записываются в виде:

$$y_1 = f_1(x); y_2 = -f_2(x). \quad (1)$$

Начало координат устанавливается в точке первоначального касания вала и втулки. Под действием прижимающих сил вал получает перемещение σ_1 , втулка — σ_2 . Точки, расположенные на поверхности вала, и точки, находящиеся на поверхности втулки, получают соответствующее перемещение v_1 и v_2 в направлении оси ординат.

Поскольку координаты точек вала и втулки после вступления в контакт становятся идентичными, можно записать условия перемещения втулки и вала в виде

$$-v_1 + f_1(x) - \delta_1 = v_2 - f_2(x) + \delta_2, \quad (2)$$

где δ_1 — поступательное перемещение точек вала; δ_2 — соответствующее перемещение точки втулки; $f_1(x)$ — функция, описывающая геометрию поверхности [6]; $f_2(x)$ — функция, характеризующая геометрию внутренней поверхности втулки [6].

Величины v_1 и v_2 характеризуют смещение в результате износа поверхностей вала и втулки [6]. Используя различные методики, можно определить величину износа поверхностей как втулки, так и вала. Известно, что когда износ является следствием различных причин, связанных с ухудшением показателей надёжности машин и механизмов, часто используется нормальное распределение. Нормальное распределение обычно считают предельным для распределения Пуассона, биномиального, гамма-распределения и др. [7]. Объем выборки деталей при проведении экспериментов составляет 100 и более единиц.

Нормальное распределение характеризуется интегральной функцией

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dx \quad (3)$$

или плотностью распределения

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]. \quad (4)$$

Для нормального распределения

$$M(x) = \mu, \quad D(x) = \sigma^2, \quad V = \frac{\sigma}{\mu}, \quad (5)$$

где $-\infty < \mu < +\infty$ и $\sigma > 0$ — параметры сдвига и масштаба.

Если изменение случайной величины будет охарактеризовано только положительными значениями, то следует принимать во внимание условия усечённого нормального распределения и произвести некоторые коррективы в расчётах.

Для определения изменения величины износа поверхностного слоя в зависимости от шероховатости поверхности деталей, обработанных различными методами, и условий работы судовых машин и механизмов, можно использовать разные законы распределения, такие как закон Симпсона, усеченное нормальное распределение, закон Вейбулла, закон Максвелла, логарифмическое нормальное распределение и другие методы математической статистики.

Для определения характеристик износа поверхностей использованы детали, обработанные ротационном растачиванием, шлифованием с виброгашением, ротационном хонингованием, притиркой с дозированным съёмом материала поверхностного слоя и эластичным раскатыванием. В качестве обрабатываемого материала приняты стали марки 38ХМЮА, Ст30Х13, Ст40Х и Ст45.

Для проведения экспериментов использованы детали из выше указанных материалов со следующими размерами: диаметр наружной поверхности — 55 мм, внутренней поверхности — 45 мм, длина $l = 300$ мм. Точность обработанных деталей находилась в пределах восьмого и девятого квалитетов. Шероховатость поверхностного слоя измерялась с помощью профилометра — профилографа мод. 201 с записью профилограммы обработанных поверхностей.

Для проведения экспериментальных исследований по износу поверхностей деталей было использовано специальное устройство, сконструированное на базе станка-качалки СКН-5. Испытания проводились при одинаковых условиях и режимах для всех тестируемых образцов. Конструкция, принцип работы притирочного устройства, а также условия и режимы работы проведения испытаний подробно изложены в работах [4] и [6].

Для определения величины износа использован метод микрометрического измерения. Измерение проводилось микрометром, индикаторным нутромером, а также с помощью рычажно-оптических приборов и инструментального микроскопа. В зависимости от их точности охватываемые и охватывающие поверхности деталей измерялись микрометром, оптиметром и индикаторным нутромером. Точность измерения в зависимости от применяемого измерительного средства составляет от 0,01 до 0,001 мм.

Результаты проведенных исследований

Проведенными исследованиями было установлено, что износ поверхностей деталей существенно зависит от шероховатости поверхности R_a . Увеличение шероховатости этой поверхности, обработанной ротационным растачиванием от 0,3 до 2,0 мкм, увеличивает износ поверхностного слоя I в 2 раза, т. е. до 14 мкм (рис. 1, а). При этом детали, изготовленные из различных сталей, показывают разные характеристики. Например, износ деталей, изготовленных из сталей 38ХМЮА, на 3–4 мкм меньше, чем деталей стали 45. Несмотря на идентичность условий обработки, шероховатость поверхностей различных марок сталей имеет разные величины, что непосредственно связано с физико-механическими свойствами материалов деталей, из которых они изготовлены. Кроме того, существенное значение имеет также и величина микротвердости поверхностного слоя деталей, которые, несмотря на одинаковый вид обработки для различных материалов, имеют разную величину и глубину залегания по материалу поверхностного слоя.

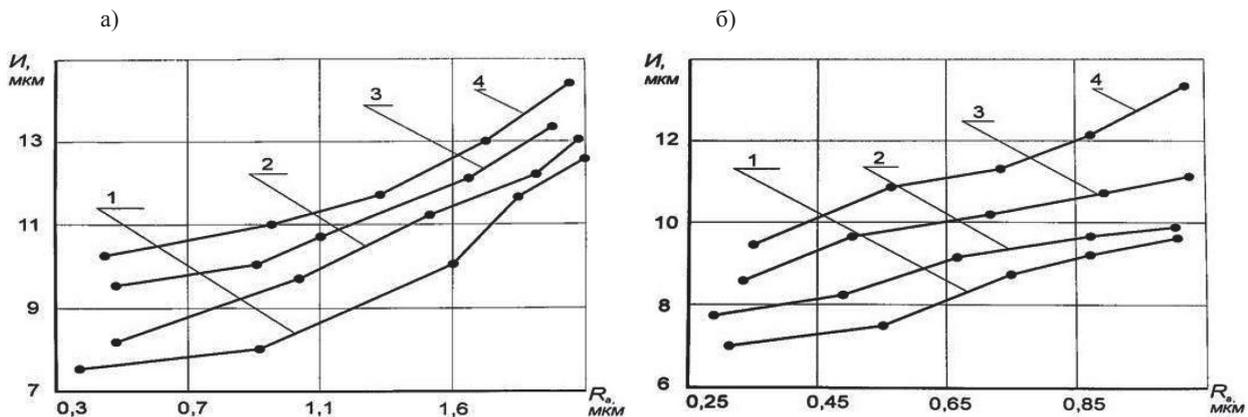


Рис. 1. Зависимость износа деталей I от шероховатости поверхности R_a :
 а — поверхность обработана методом ротационного резания;
 б — поверхность обработана методом шлифования с виброгашением
 Условные обозначения: 1, 2, 3, 4 — соответственно: Ст38ХМЮА, Ст30Х13, Ст45 и Ст40Х

Твёрдость и износ связаны между собой обратно пропорциональной зависимостью и поэтому для повышения износостойкости необходимо также повышение микротвёрдости поверхностного слоя. Ротационное резание является силовым процессом и характеризуется большими составляющими сил резания, что приводит к дополнительным пластическим деформациям материала поверхностного слоя деталей. Используя параметры режимов резания и геометрические параметры ротационного инструмента, можно в достаточно широких пределах регулировать величину шероховатости R_a , остаточного напряжения σ_0 и микротвердости H поверхностного слоя, которые обеспечивают низкую склонность к схватыванию и высокую длительную прочность поверхностей деталей.

Как известно [6], структурное состояние металла характеризуется фазовым составом, типом и характером кристаллической решётки, числом и характером распределения дефектов. Сопротивление изнашиванию металлов в значительной мере определяется структурой и сочетанием свойств локальных микрообъемов. Весьма существенное влияние на износостойкость оказыва-

ет кристаллическая решетка и ориентация направления скольжения при трении по отношению к различным кристаллическим направлениям. Указанные характеристики и их основные показатели в основном формируются в процессе механической обработки деталей. Поэтому выбор того или иного метода обработки и установление их оптимальных режимов имеет существенное значение для снижения износа поверхностей деталей.

Применение метода ротационного резания в качестве финишной обработки не только формирует на поверхности деталей дополнительно деформированный поверхностный слой, но и одновременно обеспечивает высокую производительность. Ротационное резание может быть использовано как предварительная, так и как окончательная технологическая операция.

Зависимость износа поверхностного слоя I от шероховатости R_a поверхности деталей, обработанных шлифованием с виброгашением, приведена на рис. 1, б. Анализ результатов экспериментов показывает, что интенсивность износа поверхностей деталей, обработанных шлифованием с виброгашением, несколько меньше по сравнению с ротационным резанием. Сравнительно малая интенсивность износа поверхностей деталей, обработанных шлифованием с виброгашением, по сравнению с ротационным резанием, связана с меньшей величиной шероховатости поверхности при шлифовании с виброгашением. Другие физико-механические характеристики поверхностей, обработанных ротационным резанием и шлифованием с виброгашением, практически одинаковы. Для ротационного резания и шлифования с виброгашением характерны растягивающие остаточные напряжения и идентичные микротвердости поверхностного слоя.

Результатами многочисленных исследований доказано [6] – [8], что при обычном шлифовании частицы материала абразивного круга переносятся на поверхность обработки. Указанная закономерность характерна и для шлифования с виброгашением, но в меньшей степени. Перенос частицы абразивного круга часто является одной из основных причин резания — царапания поверхностного слоя деталей. Интенсивное царапание создает на поверхностном слое дополнительные очаги напряжений. Учитывая, что для процесса шлифования также характерны растягивающие остаточные напряжения, из-за высокой температуры в зоне резания, интенсивное изнашивание поверхностей деталей, обработанных шлифованием с виброгашением, по сравнению с «холодными» методами обработки (хонингование, притирка, раскатывание), вполне закономерно. Кроме того, абразивные частицы, насаженные на обработанные поверхности в процессе шлифования, переносятся и на контактирующие поверхности другой детали пары трения и царапают их.

Принимая во внимание ранее изложенное, при выборе пары трения необходимо учитывать как материалы деталей, из которых они изготовлены, так и методы обработки контактирующих поверхностей деталей. Иногда тот или иной метод обработки может быть единственным для достижения требуемой точности, качества поверхности и износостойкости. С этой точки зрения предлагаемый процесс — шлифование с виброгашением — является одним из прогрессивных методов механической обработки, позволяющих существенно снизить перенос абразивных частиц на обрабатываемую поверхность, повысить точностные и качественные показатели поверхностей, улучшить износостойкостные характеристики поверхностного слоя из-за существенного снижения вибрации, возникающие при выполнении технологической операции.

Одним из прогрессивных методов механической обработки, значительно повышающих износостойкостные показатели рабочих поверхностей деталей, является *ротационное хонингование* [9], [10]. Отличительной особенностью этого метода, по сравнению с обычным хонингованием, является наличие дополнительного рабочего движения режущей части (ролика) ротационной головки.

Если при известных методах хонингования имеется три основных движения: вращательное со скоростью $V_{вр}$ вокруг оси обрабатываемого отверстия, возвратно-поступательное вдоль оси обрабатываемого отверстия со скоростью $V_{в-п}$, а также радиальные перемещения брусков со скоростью $V_{рад}$ по мере съема металла поверхностного слоя, то при ротационном хонинговании отверстий режущие алмазные ролики совершают движение самовращения с угловой скоростью ω_p вокруг своей оси [9]. При этом частота самовращения режущих алмазных роликов в несколько раз

больше частоты оборотов шпинделя станка. В процессе обработки рабочая поверхность алмазных роликов постоянно обновляется из-за вращения их вокруг своей оси.

Одним из основных преимуществ ротационного хонингования является то, что во время холостого пробега режущая часть алмазных роликов постоянно промывается смазочно-охлаждающей жидкостью, которая в процессе обработки уносит с собой отходы продуктов обработки, в том числе отрывающиеся частицы алмаза. Указанный процесс существенно уменьшает перенос алмазных частиц на рабочую поверхность деталей, что приводит к снижению износа поверхности деталей.

Влияние шероховатости R_a поверхностного слоя деталей, обработанных ротационным хонингованием на износ поверхности I , показано на рис. 2, а, откуда видно, что интенсивность износа поверхностей деталей, обработанных этим методом, намного меньше по сравнению с ранее рассмотренными методами обработки. Например, увеличение шероховатости поверхности R_a от 0,10 мкм до 0,70 мкм и износ поверхностей деталей увеличиваются приблизительно для стали 38ХМЮА на 4–6 мкм, для стали 30Х13 на 5–7 мкм, для стали 40Х на 6–7 мкм, для стали 45 на 7–10 мкм.

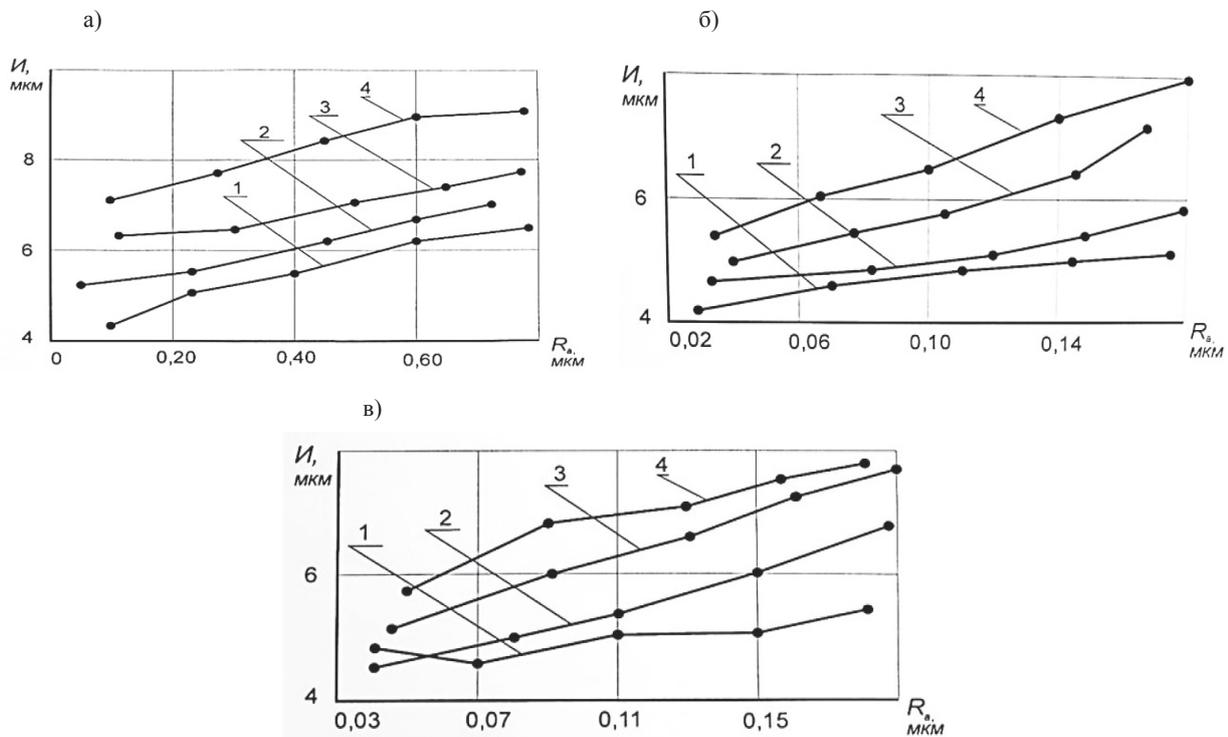


Рис. 2. Зависимость износа деталей I от шероховатости поверхности R_a :

а — поверхность обработана методом ротационного хонингования);

б — поверхность обработана методом дозированной притирки;

в — поверхность обработана методом эластичного раскатывания

Условные обозначения: 1, 2, 3, 4 — соответственно Ст38ХМЮА, Ст30Х13, Ст45 и Ст40Х

Основным недостатком обычного алмазного хонингования является срез связки сходящей сливной стружкой при обработке стали и других вязких материалов. Этот недостаток устраняется при ротационном хонинговании: стружка выбрасывается из зоны резания благодаря линейному контакту инструмента с детали. Одновременно снижаются интенсивность адгезионного и диффузионного износа алмазов из-за кратковременности контакта и более эффективного охлаждения роликов, а также температура нагрева деталей, что приводит к образованию на поверхностном слое деталей снимающихся остаточных напряжений, которые существенно снижает износ контактных поверхностей.

Прерывистость резания единичных зерен при ротационном хонинговании сочетается с непрерывностью процесса стружкообразования, налипания металла на рабочую поверхность алмазных роликов практически не происходит. Указанное обстоятельство способствует снижению температуры в зоне резания, что приводит к улучшению физико-механических свойств поверхностного слоя и является дополнительным стимулом повышения износостойкости поверхностей деталей.

Результаты исследований показывают, что при одинаковых шероховатостях поверхностей, обработанных притиркой с дозированным съемом материала поверхностного слоя, износостойкость деталей из различных марок сталей имеют разные значения (рис. 2, б). При увеличении шероховатости R_a от 0,035 до 0,075 мкм износ поверхностей I деталей увеличивается незначительно или практически не изменяется. С дальнейшим увеличением исходной шероховатости увеличивается и износ поверхностей деталей.

Притирка с дозированным съемом материала поверхностного слоя, как и обычная притирка, является абразивным методом финишной обработки. Абразивные частицы притирочных паст имеют самые разнообразные геометрические формы. Отличительной особенностью этого метода является то, что он применяется только как окончательная операция. Припуски на обработку, притирочная паста, точность обработки, качества поверхности и ее составляющие, время обработки и другие показатели определяются заранее. Для осуществления этого метода разрабатывается специальная методика, конструкция режущего инструмента и технологическая оснастка. При этом наличие острых режущих кромок и точность формы абразивных частиц не оказывают определяющего влияния на формирование поверхностного слоя, поэтому частицы износа составляют определенный объем образующихся неровностей. Абразивные действия сводится к резанию — царапанию, образующиеся в поверхностном слое неровности не превышают размеры абразивных частиц притирочных паст.

При притирке с дозированным съемом материала поверхностного слоя обеспечивается оптимальная толщина деформируемого поверхностного слоя из-за возможности регулирования абразивного воздействия на обрабатываемую поверхность, которая способствует снижению износа поверхностного слоя деталей. Образующиеся неровности на поверхностном слое формируются под воздействием местных деформаций частиц и зависят также от состояния предварительно подготовленных поверхностей под притирку. Первичные деформации могут быть устранены полностью или частично в зависимости от требований, предъявляемых к качеству поверхности.

Одним из основных методов механической обработки, существенно снижающим износ поверхностей деталей, является раскатывание. Процесс раскатывания можно сравнить с такими методами отделочной обработки, как алмазное сглаживание, хонингование, тонкое шлифование, тонкое точение, полирование, суперфиниширование. Однако существенным недостатком процесса раскатывания является то, что оно характеризуется повышенными силами, которые не позволяют ее применение при обработке высокоточных нежестких тонкостенных деталей типа «глаз», подшипников скольжения, тонкостенных втулок и т. д. Для уменьшения вредного влияния повышенных сил обработки при раскатывании на точностные и качественные показатели ответственных нежестких тонкостенных деталей разработан специальный метод — *эластичное раскатывание*. Особенностью эластичного раскатывания является то, что деформирующие элементы раскатной головки расположены на специальном дозирующем регулирующем устройстве, которое позволяет осуществлять раскатывание поверхностей деталей со стабильными уравновешенными силами обработки [11], [12].

На рис. 2 приведены результаты экспериментов влияния шероховатости R_a раскатанных поверхностей на износостойкость I поверхностного слоя деталей. Как видно из рис. 2, в, поверхности, обработанные методом эластичного раскатывания, показывают наилучшие износостойкостные характеристики по сравнению с другими исследованными методами финишной обработки. Увеличение шероховатости R_a в пределах от 0,02 до 0,08 мкм фактически не оказывает существенного влияния на уменьшение / увеличение износа I поверхностей. Незначительное повышение износа поверхностного слоя наблюдается при увеличении шероховатости поверхности более

0,10 мкм. Наилучшими износостойкостными характеристиками обладают стали марки 38ХМЮ и Ст30Х13, наименьшими — Ст45.

Обсуждение полученных результатов

Результаты проведенных исследований показывают, что поверхности, обработанные различными методами, несмотря на идентичность условий, имеют различия как по шероховатости поверхности, так и по физико-механическим характеристикам поверхностного слоя. При этом дефекты, полученные по качественным показателям поверхностного слоя, впоследствии оказывают существенное влияние на износостойкостные характеристики контактирующих поверхностей деталей. Износостойкостные характеристики контактирующих поверхностей деталей пары трения непосредственно связаны с макро- и микрогеометрией поверхностей и приложенными к ним нагрузками. Износ поверхности происходит из-за срезания микрогребешков, возникающих после механической обработки.

Результатами исследований [8] установлено, что металлические поверхности имеют шероховатость на атомном уровне и при соприкосновении контактируют через наиболее выступающие неровности. У металлов, находящихся в обычной атмосфере, роль таких неровностей играют частицы пыли, которые при малых нагрузках могут воспринимать большую часть нагрузки или даже всю её целиком. Несколько иная ситуация возникает в случае, если единичные области контакта деформируются упруго. Для металлических поверхностей при данных обстоятельствах микронеровности могут быть расплющены плоскостью, и площадь истинного контакта определяется законом упругой, а не пластической деформации [4]. Методика измерения основных параметров шероховатости поверхности подробно изложена в работе [10]. Величина износа поверхностей деталей (вала и втулки) соединений определяется как разница их диаметров до и после экспериментов, т. е. устанавливается линейный износ.

В большинстве случаев при использовании механических методов обработки, особенно при абразивных, частицы материала инструмента переносятся на обрабатываемую поверхность, что приводит к интенсификации износа поверхностного слоя деталей трущихся пар. При изготовлении высокоточных ответственных деталей судовых машин и механизмов основным и обязательным условиям должен быть тщательный выбор соответствующих видов механической обработки, которые обеспечивают оптимальные параметры шероховатости R_a , остаточного напряжения σ_0 и микротвердости H поверхностного слоя. Результаты проведенных исследований показывают, что для поверхностей трения не всегда характерно резание-царапанье. При высокой скорости скольжения происходит размягчение материала поверхностного слоя из-за высоких температур, возникающих в зоне контакта поверхностей. В результате пластическое течение имеет преимущество над резанием-царапаньем.

Основополагающими факторами, определяющими износ поверхностного слоя деталей машин, являются шероховатость поверхности R_a и ее основные составляющие. Управляя технологическими параметрами процесса притирки с дозированным съемом материала поверхностного слоя, можно получить оптимальный микрорельеф контактных поверхностей, которые обеспечивают наибольшую износостойкость деталей судовых машин и механизмов. Результаты многочисленных наблюдений свидетельствуют о том, что основными показателями, характеризующими износостойкость поверхностей деталей пар трения судовых машин и механизмов, являются качество поверхностного слоя и их точность, которые непосредственно характеризуют зазоры между деталями пары трения, толщину масляной пленки, длину опорной площади, распределение нагрузки по контактными поверхностям [11] – [18].

Выводы

1. Следует отметить, что повышение твердости поверхностного слоя не всегда обеспечивает наибольшую износостойкость. В связи с этим необходимо выполнить поэтапную подготовку поверхностей деталей. При этом существенную роль играет выбор оптимальных сочетаний технологических операций с учетом закономерностей технологической наследственности [10], [12].

2. Одним из основных условий, определяющих наибольшую износостойкость поверхностей деталей, является сочетание твердости с шероховатостью и физико-механическими свойствами поверхностного слоя.

3. Результаты проведенных исследований показывают, что наименьший износ поверхности получается тогда, когда поверхностные слои деталей, обработанных различными технологическими методами, по своим качественным показателям соответствуют поверхностям после обработки. Конкретным твердостям поверхностного слоя деталей всегда должно соответствовать равновесные шероховатости поверхности, обеспечивающие равномерное контактное давление.

4. Существенное влияние на износ поверхностей деталей оказывают направления следов обработки, отклонения макрогеометрии поверхностей (изогнутость, овальность, конусность и др.), обеспечиваемые при помощи различных технологических методов.

5. Для получения поверхностей, имеющих повышенные износостойкостные характеристики, следует разрабатывать и исследовать новые прогрессивные технологические методы и успешно использовать их в условиях производства. К таким методам можно отнести ротационное резание, шлифование с виброгашением, ротационное хонингование, притирку с дозированным съемом материала поверхностного слоя, эластичное раскатывание и др. [13], [14].

6. Оптимальными величинами шероховатости поверхности, обеспечивающие наименьший износ поверхностей деталей находиться в пределах $R_a = 0,04 \dots 0,08$ мкм (см. рис. 1 и 2).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сулейманов П. Г. Разработка методики оценки надежности машин и оборудования эксплуатируемых в чрезвычайных ситуациях и экстремальных условиях / П. Г. Сулейманов // Теоретическая и прикладная механика. — 2016. — № 3. — С. 140–147.
2. Штаерман И. В. Контактная задача теории упругости / И. В. Штаерман. — М.-Л.: Гостехиздат, 1949. — 320 с.
3. Демкин И. Б. Контактное взаимодействие шероховатых поверхностей / И. Б. Демкин. — М.: Наука, 1970. — 227 с.
4. Сулейманов П. Г. Триботехнические характеристики деталей машин эксплуатируемых в экстремальных условиях / П. Г. Сулейманов. — Баку: Наука, 2013. — 186 с.
5. Джанахмедов А. Х. Синергетика и фракталы в трибологии / А. Х. Джанахмедов, О. А. Дышин, М. Я. Джавадов. — Баку: Наука, 2014. — 504 с.
6. Гасанов Ю. Н. Регулирование триботехнических характеристик поверхностей деталей / Ю. Н. Гасанов. — Баку: Наука, 2001. — 315 с.
7. Гафаров А. М. Исследование влияния характеристик поверхностного слоя на износ деталей обработанных различными методами / А. М. Гафаров, З. З. Шарифов, Ч. М. Алиев, А. М. Кулиев // Теоретическая и прикладная механика. — 2016. — № 4. — С. 118–125.
8. Гафаров В. А. Шлифование с виброгашением / В. А. Гафаров. — Баку: Наука, 2006. — 124 с.
9. Гафаров А. М. Исследование кинестатики характера взаимодействия режущих роликов с обрабатываемой поверхностью при ротационном хонинговании / А. М. Гафаров, П. Г. Сулейманов, В. А. Гафаров, Ф. М. Калбиев // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. — 2015. — № 9 (666). — С. 26–33.
10. Гафаров А. М. Ротационное хонингование / А. М. Гафаров, Г. М. Бабаев. — Баку: Наука, 1999. — 132 с.
11. Пат. J20160014 Азербайджанская Республика, ГКСМР2013 (2013.02). Раскатная головка / А. М. Гафаров, П. Г. Сулейманов, Ф. М. Калбиев; заяв. Академия МЧС Азербайджанской Республики. — № a20130012; заяв. 25.01.2013; опубл. 03.03.2016.
12. Гафаров А. М. Раскатывание тонкостенных деталей / А. М. Гафаров, Г. Н. Аббасова. — Баку: Наука, 2006. — 131 с.
13. Муратов Р. А. Механизм разжима хонинговальных брусков с переменным давлением по длине заготовки / Р. А. Муратов, К. Р. Муратов // СТИН. — 2007. — № 2. — С. 11–13.
14. Муратов К. Р. Методы хонингования высокоточных отверстий / К. Р. Муратов, Е. А. Гашев // Современные проблемы науки и образования. — 2014. — № 5. — С. 288.

15. Солер Я. И. Обеспечение точности формы инструментов при плоском шлифовании кругом Norton Vitrim / Я. И. Солер, В. К. Нгуен // Вестник машиностроения. — 2016. — № 11. — С. 51–58.

16. Гафаров А. М. Исследование качества поверхностей деталей, обработанных ротационным хонингованием и работающих в экстремальных условиях / А. М. Гафаров, П. Г. Сулейманов, В. А. Гафаров // Вестник машиностроения. — 2016. — № 11. — С. 63–68.

17. Гафаров А. М. Влияние технологических параметров на износ поверхностного слоя деталей машин, эксплуатируемых в экстремальных условиях / А. М. Гафаров, П. Г. Сулейманов, В. А. Гафаров // Химическое и нефтегазовое машиностроение. — 2013. — № 3. — С. 46–48.

18. Гафаров А. М. Исследование влияния основных параметров ротационного метода обработки на качество поверхности деталей машин, эксплуатируемых в экстремальных условиях / А. М. Гафаров, П. Г. Сулейманов, Ф. М. Калбиев, В. А. Гафаров // Технология машиностроения. — 2017. — № 4. — С. 17–24.

REFERENCES

1. Suleimanov, P.G. “Razrabotka metodiki otsenki nadezhnosti mashin i oborudovaniya ekspluatiruemykh v chrezvychainykh situatsiyakh i ekstremal’nykh usloviyakh.” *Teoreticheskaya i prikladnaya mekhanika* 3 (2016): 140–147.

2. Shtaerman, I.V. *Kontaktная задача теории упругости*. М.-Л.: Gostekhizdat, 1949.

3. Demkin, I.B. *Kontaktirovanie sherokhovatykh poverkhnostei*. М.: Nauka, 1970.

4. Suleimanov, P.G. *Tribotekhnicheskie kharakteristiki detalei mashin ekspluatiruemykh v ekstremal’nykh usloviyakh*. Baku: Nauka, 2013.

5. Dzhanakhmedov, A.Kh., O.A. Dyshin, and M.Ya. Dzhabadov. *Sinergetika i fraktaly v tribologii*. Baku: Nauka, 2014.

6. Gasanov, Yu.N. *Regulirovanie tribotekhnicheskikh kharakteristik poverkhnostei detalei*. Baku: Nauka, 2001.

7. Gafarov, A.M., Z.Z. Sharifov, Ch.M. Aliev, and A.M. Kuliev. “Issledovanie vliyaniya kharakteristik poverkhnostnogo sloya na iznos detalei obrabotannykh razlichnymi metodami.” *Teoreticheskaya i prikladnaya mekhanika* 4 (2016): 118–125.

8. Gafarov, V.A. *Shlifovanie s vibrogasheniem*. Baku: Nauka, 2006.

9. Gafarov, Aidyn Mamish, Panakh Gusein Suleimanov, Vugar Aidyn Gafarov, and Fargan Mammad Kalbiev. “Kinetostatic Analysis of the Interaction between the Cutting Rolls and the Machined Surface in Rotary Honing.” *Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building* 9(666) (2015): 26–33.

10. Gafarov, A.M., and G.M. Babaev. *Rotatsionnoe khoningovanie*. Baku: Nauka, 1999.

11. Gafarov, A.M., P.G. Suleimanov, and F.M. Kalbiev. J20160014, GKSMR2013 (2013.02). Raskatnaya go-lovka. The Republic of Azerbaijan, assignee. Publ. 3 March 2016.

12. Gafarov, A.M., and G.N. Abbasova. *Raskatyvanie tonkostennykh detalei*. Baku: Nauka, 2006.

13. Muratov, R.A., and K.R. Muratov. “Mekhanizm razzhima khoningoval’nykh bruskov s peremennym davleniem po dline zagotovki.” *STIN* 2 (2007): 11–13.

14. Muratov, K.R., and E.A. Gashev. “Methods of precision hole honing.” *Modern problems of science and education* 5 (2014): 288.

15. Soler, Ya.I., and Van Kan’ Nguen. “Assurance of tools form accuracy at plane grinding by Norton Vitrium wheel.” *Russian Engineering Research* 11 (2016): 51–58.

16. Gafarov, A.M., P.G. Suleymanov, and V.A. Gafarov. “Research of quality of parts surfaces, machined by rotating honing and operating in extreme conditions.” *Russian Engineering Research* 11 (2016): 63–68.

17. Gafarov, A.M., P.G. Suleimanov, and V.A. Gafarov. “Vliyanie tekhnologicheskikh parametrov na iznos poverkhnostnogo sloya detalei mashin, ekspluatiruemykh v ekstremal’nykh usloviyakh.” *Khimicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie* 3 (2013): 46–48.

18. Gafarov, A.M., P.G. Suleimanov, F.M. Kalbiev, and V.A. Gafarov. “Issledovanie vliyaniya osnovnykh parametrov rotatsionnogo metoda obrabotki na kachestvo poverkhnosti detalei mashin, ekspluatiruemykh v ekstremal’nykh usloviyakh.” *Tekhnologiya mashinostroeniya* 4 (2017): 17–24.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шарифов Захид Зиятхан —
доктор технических наук, профессор
Азербайджанская Государственная
Морская Академия
1005, Азербайджанская Республика,
г. Баку, ул. М.А. Расулзаде, 5
e-mail: *scharifov.z@gmail.com*,
zahid.sharifov@acsc.az

Алиев Чингиз Мансур —
кандидат технических наук, доцент
Азербайджанская Государственная
Морская Академия
1005, Азербайджанская Республика,
г. Баку, ул. М.А. Расулзаде, 5
e-mail: *C.Aliyev@caspar.az*, *chingiz.aliyev@acsc.az*

Кулиев Алимардан Мамедрза —
доцент
Азербайджанская Государственная
Морская Академия
1005, Азербайджанская Республика, г. Баку, ул.
М.А. Расулзаде, 5
e-mail: *alimardan.quliyev@acsc.az*

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sharifov, Zahid Z. —
Dr. of Technical Sciences, professor
Azerbaijan State Marine Academy
5 M.A. Rasulzada Str., Baku, AZ1005,
Azerbaijan Republic
e-mail: *scharifov.z@gmail.com*,
zahid.sharifov@acsc.az

Aliyev, Chingiz M. —
PhD, associate professor
Azerbaijan State Marine Academy
5 M.A. Rasulzada Str., Baku, AZ1005,
Azerbaijan Republic
e-mail: *C.Aliyev@caspar.az*, *chingiz.aliyev@acsc.az*

Guliyev, Alimardan M. —
associate professor
Azerbaijan State Marine Academy
5 M.A. Rasulzada Str., Baku, AZ1005,
Azerbaijan Republic
e-mail: *alimardan.quliyev@acsc.az*

*Статья поступила в редакцию 23 февраля 2017 г.
Received: February 23, 2017.*