

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ
ПРИ ОБРАБОТКЕ ЦИЛИНДРОВЫХ УЗЛОВ БУРОВЫХ НАСОСОВ**

© 2025 Р.Ю. Некрасов, Ю.С. Клочков

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

Статья поступила в редакцию 07.10.2025

В данной статье рассматриваются вопросы влияния механической обработки исполнительных поверхностей цилиндрических втулок буровых насосов. В качестве конструкционного материала используется серый чугун, который подвергнут поверхностному упрочнению посредством легирования в контакте со смесью оксидов. В результате на исполнительной поверхности втулки цилиндра бурового насоса формируется слой с особыми свойствами. Отличительной чертой слоя является обратный характер распределения твердости (твердость возрастает по глубине слоя). Также на поверхности имеется чистый феррит (кант толщиной которого можно управлять за счет состава насыщающей смеси). Проведены исследования процесса механической обработки деталей с указанной конфигурацией поверхности. Был спланирован и выполнен полный факторный эксперимент. В результате обработки данных были получены зависимости для определения среднеарифметического отклонения профиля от технологических режимов. Полученные зависимости могут быть использованы для назначения режимов чистовой обработки деталей, в том числе цилиндрических втулок буровых насосов.

Ключевые слова: втулки, точение, обработка, эксперимент, режимы резания.

DOI: 10.37313/1990-5378-2025-27-6-133-140

EDN: WPDXCX

*Работа выполнена в рамках государственного задания
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации
(тема № FEWN-2025-0005 Разработка методик определения материалов в качестве
строительных конструкций, деталей и узлов оборудования нефтедобывающих предприятий
в Арктической и Субарктической зонах России).*

ВВЕДЕНИЕ

Втулки цилиндров буровых насосов типа УНБТ являются весьма ответственными деталями. Во многом от качества их изготовления зависит способность всей машины выполнять свое служебное назначение [1,2]. С учетом работы в условиях интенсивного абразивного изнашивания, рабочая часть изготавливается из чугуна (с целью повышения долговечности). При этом, исполнительные поверхности (отверстия) изготавливаются по 9 качеству точности и с шероховатостью Ra3.2 мкм. Для получения таких параметров поверхности необходимо использовать чистовое растачивание [3,4].

Также могут применяться конструкционные материалы, которые обладают повышенным сопротивлением к изнашиванию при работе в среде, содержащей абразивные частицы. Одним из наиболее часто используемых материалов в данном случае является чугун. В конструкциях функциональных узлов буровых насосов чаще используются чугуны с шаровидным графитом, которые легированы хромом и никелем [8,9]. Однако использование такого решения не всегда удачно ввиду следующих причин:

- легированные чугуны имеют высокую стоимость, довольно большой их объем производят за рубежом;
- использование износостойкого легированного чугуна для изготовления деталей буровых насосов, в частности втулок цилиндров, повышает риск получения брака на стадиях получения заготовки. Проблема здесь в том, что чугуны таких марок обладают худшими литейными свойствами (по сравнению с нелегированными чугунами);
- в качестве упрочнения используется объемная закалка, которая приводит к снижению обрабатываемости резанием. Требуется использование абразивной обработки (при этом формально требуемые параметры точности размеров и шероховатости технически можно обеспечить растачиванием, но высокая твердость поверхности этого не позволяет).

Некрасов Роман Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой машиностроения.

E-mail: nekrasovrj@tyuiu.ru

Клочков Юрий Сергеевич, доктор технических наук, доцент, исполняющий обязанности ректора.

E-mail: y.kloch@mail.ru

Цилиндровые втулки стандартных конструкций изготавливаются из износостойких марок чугунов (содержащих высокий процент хрома и никеля). Втулки подвергают объемной закалке с целью обеспечения требуемой твердости (порядка 48–50 единиц по шкале HRC). В качестве окончательной обработки также используется чистовое растачивание. Однако повышенная твердость снижает обрабатываемость резанием, приводит к интенсивному изнашиванию режущего инструмента и общему снижению эффективности изготовления.

Для преодоления указанных выше противоречий был разработан новый метод поверхностного легирования [10–12]. Данный метод позволяет получить на поверхности серого чугуна упроченный слой, который по своим свойствам не уступает высокопрочному чугуну. На рис. 1 приведена диаграмма расчетов коэффициентов сравнения, которые определены на основании метода анализа иерархий [13–16]. В качестве критериев сравнения были взяты толщина слоя, твердость после закалки, производительность метода, затраты и экологичность.

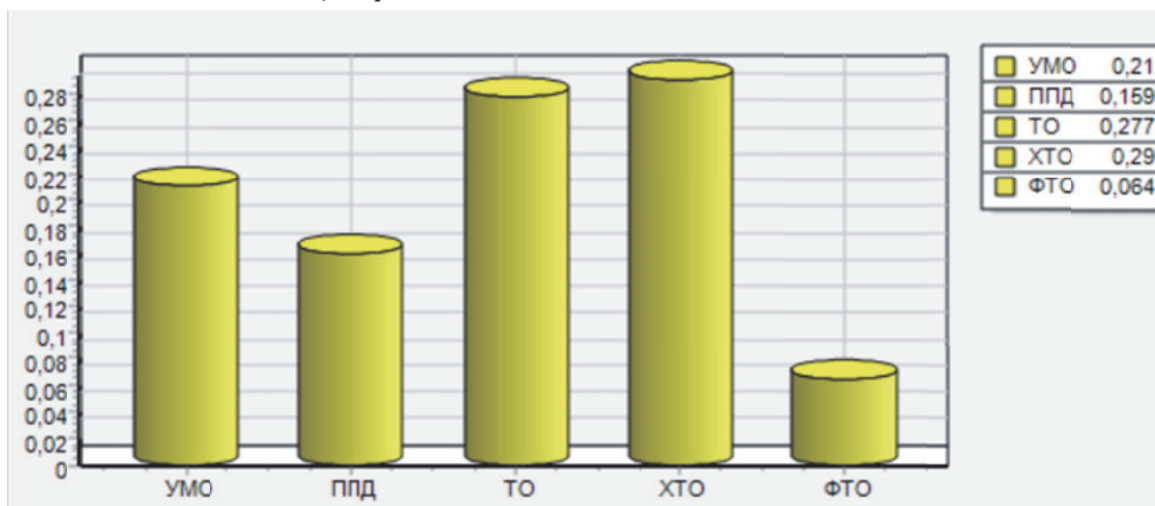


Рис. 1. Результат расчетов коэффициента сравнения

В качестве методов упрочнения рассматривались механическая обработка (УМО), поверхностное пластическое деформирование (ППД), термическая обработка (ТО), химико-термическая обработка (ХТО), физико-техническая обработка (ФТО). Анализ методов проводился применительно к серому чугуну. Как видно из рис. 1, величина коэффициента сравнения по принятой системе критериев для ХТО выше.

Важным аспектом предлагаемого метода упрочнения является использование смеси оксидов в качестве насыщающей среды. Это дает возможность управлять конфигурацией слоя. На поверхности слоя имеется часть со структурой чистого феррита, которая имеет высокую обрабатываемость резанием. Далее имеется зона с повышенной твердостью, причем твердость по толщине слоя увеличивается.

Авторами предлагается использовать в качестве материала для изготовления втулок серый чугун, который подвергнут поверхностному легированию с использованием смеси оксидов легирующих элементов. При этом формируется принципиально отличная конфигурация упроченного слоя. На поверхности детали образуется слой повышенной обрабатываемости, который имеет небольшую твердость (соответствует чистому ферриту). Следующий участок слоя имеет обратное распределение твердости (т.е. по глубине слоя твердость растет).

Однако при использовании данного решения возникает проблема, которая связана с тем, что отсутствуют рекомендации по выбору режимов механической обработки. Для решения данной проблемы необходимо провести экспериментальные исследования чистовой токарной обработки образцов, имеющих упроченный слой, полученный по предлагаемой методике (микрофотография слоя приведена на рис. 2).

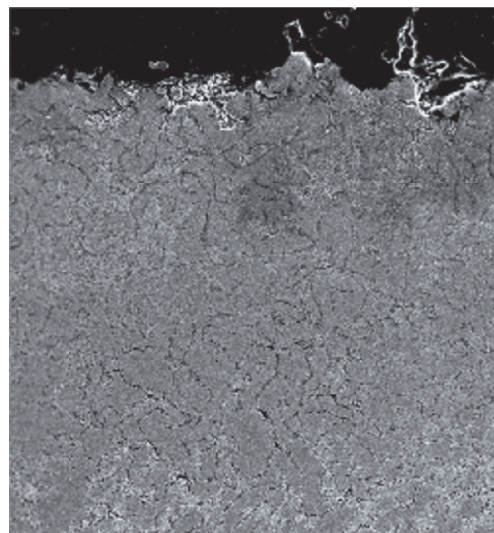


Рис. 2. Микрофотография слоя, x100

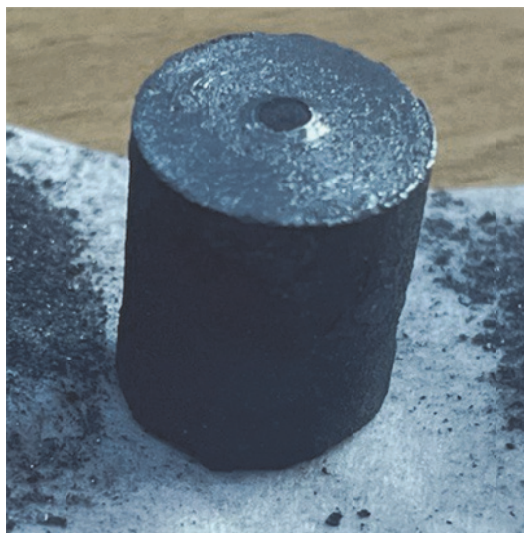


Рис. 3. Внешний вид образца для исследования

На основании этого можно сформулировать цель исследования: выявление состава смеси насыщающей среды и установление зависимостей между параметрами качества поверхностного слоя (шероховатости) и технологическими режимами при обработке цилиндрических втулок буровых насосов, имеющих упрочненный слой с обратным распределением твердости.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве исходных материалов для исследования использовались прутки из серого чугуна марки СЧ-20 ГОСТ 1412-85. Исходная микроструктура образцов феррито-перлитная. На рис. 3 приведен внешний вид образца.

В качестве материалов для насыщения были использованы оксиды хрома, титана, ванадия и молибдена высокой степени химической чистоты. При легировании образцы помещались в металлический ящик, засыпались смесью оксидов и выдерживались в печи камерного типа при температурах в диапазоне от 900 до 1100 °С.

Исследование микроструктуры выполнялось на металлографическом микроскопе, а измерение микротвердости на твердомере марки ПМТ-3.

В качестве основного оборудования для проведения экспериментов был использован токарный станок с числовым программным управлением марки DMG CTX 310. Обработка производилась стандартным режущим инструментом, который оборудован сменными пластинами с механическим креплением. Измерение шероховатости поверхности выполнялось с использованием профилографа-профилометра.

В качестве факторов принимались продольная подача S , мм/об и скорость резания V , м/мин. Эксперимент проводился при двух значениях глубины резания, которые составляли 0.2 мм и 0.35 мм. При первом значении глубины резания удалялся только слой чистого феррита с поверхности, при втором обработка захватывала зону с повышенной твердостью. В таблице 1 приведены уровни варьирования факторов.

Таблица 1 – Уровни варьирования факторов

Уровень	Кодированные значения факторов	Натуральные значения факторов	
		S , мм/об	V , м/мин
Нижний	-1	0.1	150
Верхний	+1	0.3	200
Основной	0	0.2	175
Интервал варьирования	1	0.1	25

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

На рис. 4 и 5 приведены примеры зависимостей толщины упрочненного слоя (g , мм) и предела прочности образца (σ_b , МПа) от процентного содержания второго оксида в насыщающей среде (n_{np}).

Уравнения регрессии имеют вид:

$$\sigma_b = 14.35 \times n_{np} + 1627.5.$$

Коэффициент детерминации $R^2=0.969$.

$$g = -0.026 \times n_{np} + 3.1.$$

Коэффициент детерминации $R^2=0.966$.

В ходе экспериментальных исследований были определены параметры качества поверхности упрочненного слоя в зависимости от состава смеси легирующих элементов (время выдержки 8 часов, температура 1100°C, материал СЧ-20). Результаты приведены в таблице 2.

Градация полученных результатов проводилась на основе кластерного анализа по методу ближайшего соседа [17-20] (с разделением на 5 кластеров по уровню качества от наилучшего до наихудшего). На рис. 6 приведены дендрограммы для пар «общая толщина слоя g , мм – средняя твердость $HV_{ср}$, ГПа» и «толщина упрочненного слоя ($g-g_{dc}$), мм – средняя твердость $HV_{ср}$, ГПа».

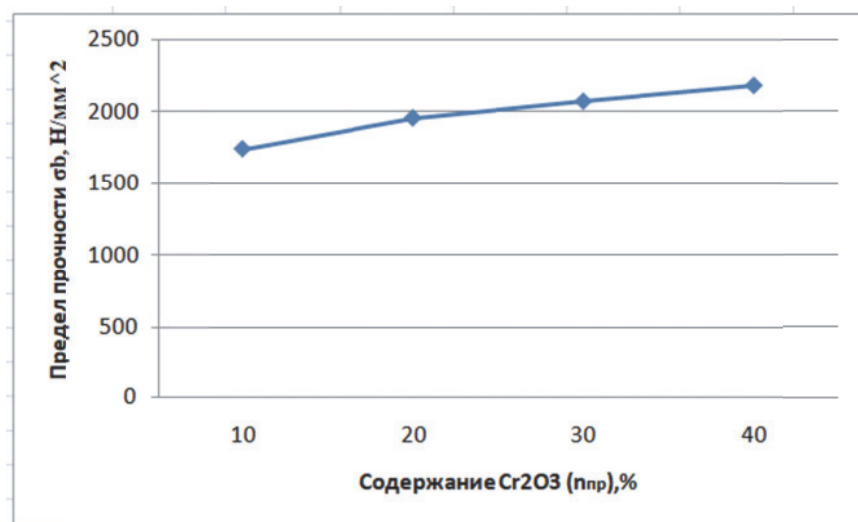


Рис. 4. Зависимость $\sigma_b = f(n_{пр})$

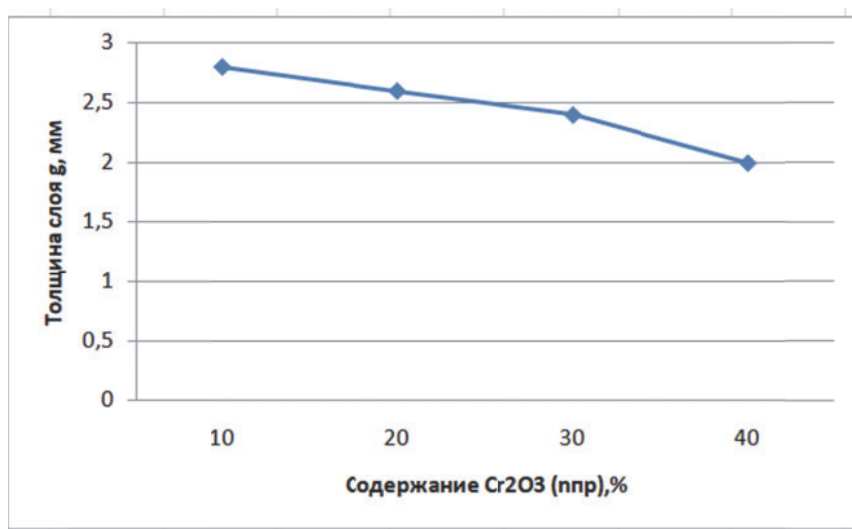


Рис. 5. Зависимость $g = f(n_{пр})$

Таблица 2 – Результаты исследований качества поверхности упрочненного слоя

Состав смеси:	g , мм	HV _{ср} для упрочненного слоя, ГПа (после закалки)	$g_{дс}$, мм
%MoO ₂ / %Cr ₂ O ₃			
90/10	2.8	5.2	0.7
80/20	2.6	5.8	0.42
70/30	2.4	6.1	0.36
60/40	2	6.4	0.27
%MoO ₂ / %TiO ₂			
90/10	2.4	5.1	0.65
80/20	2.2	5.4	0.56
70/30	2.0	5.7	0.42
60/40	1.8	5.9	0.24
%MoO ₂ / %V ₂ O ₅			
90/10	1.9	4.7	0.8
80/20	1.6	4.9	0.71
70/30	1.4	5.2	0.58
60/40	1.0	5.4	0.3

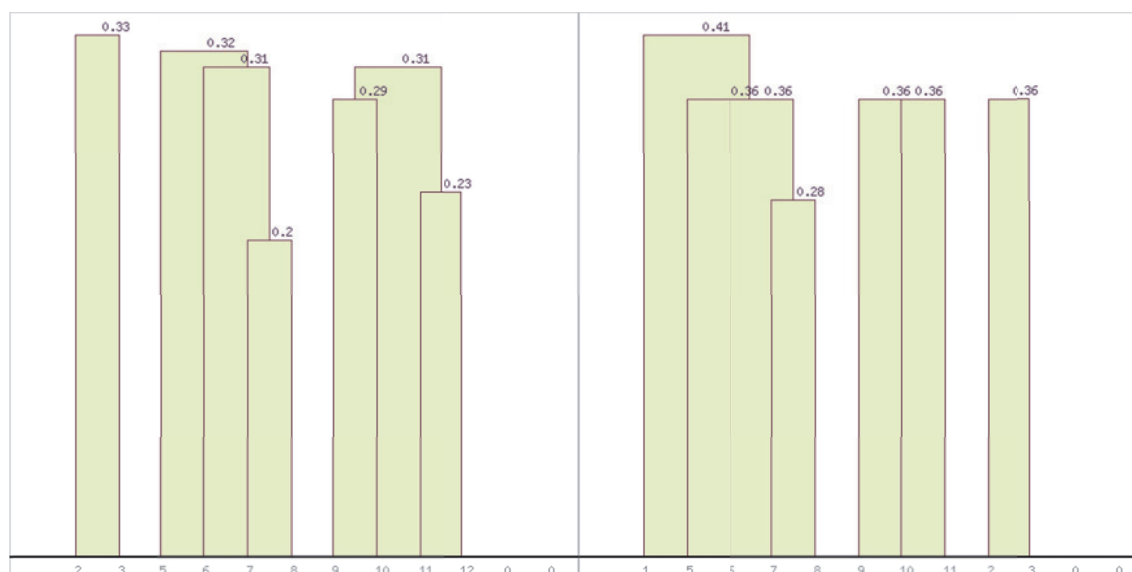


Рис. 6. Дендрограммы для пар факторов:
а) $g-HV_{cp}$; б) $(g-g_{dc})-HV_{cp}$

На рис. 7 приведен пример профилограммы обработанной поверхности.

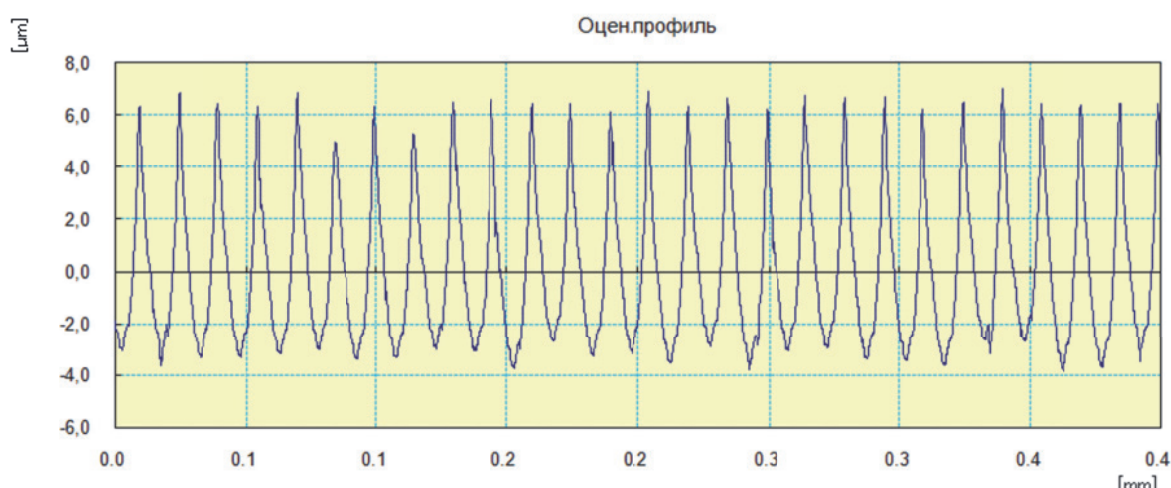


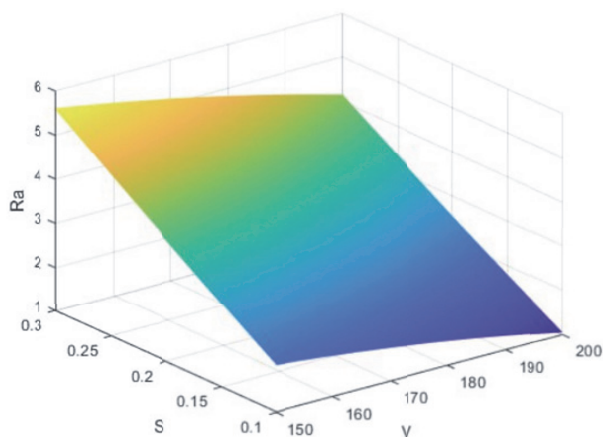
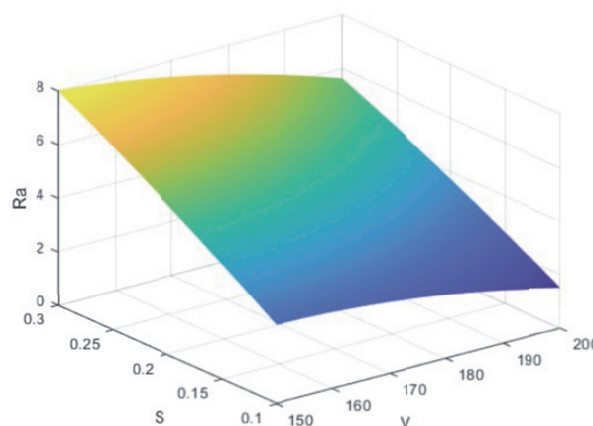
Рис. 7. Пример профилограммы обработанной поверхности

В таблице 2 приведены значения шероховатости при уровнях варьирования согласно матрице планирования полного факторного эксперимента [7, 8].

Таблица 3 – Результаты экспериментов

Номер опыта	y	Ra, мкм, $t=0.2$ мм	Ra, мкм, $t=0.35$ мм
1	y_1	1.99	2.9
2	y_2	5.7	7.9
3	y_3	1.02	1.6
4	y_4	4.3	5.6
5	y_5	3.2	4.7
6	y_6	4.8	7.3
7	y_7	1.8	2.5
8	y_8	2.5	3.7
9	y_9	3.8	5.8

По результатам обработки данных эксперимента были построены поверхности отклика (см. рис. 8 и рис. 9).

Рис. 8. Поверхность отклика при $t=0.2$ ммРис. 9. Поверхность отклика при $t=0.35$ мм

На основе обработки данных эксперимента были получены расчетные зависимости, которые связывают технологические режимы обработки и среднеарифметическое отклонение профиля. Зависимости имеют следующий вид:

$$t=0.2 \text{ мм}, Ra=5.3 \cdot S^2 - 0.04325 \cdot S \cdot V + 22.09 \cdot S - 0.0001552 \cdot V^2 + 0.03848 \cdot V - 1.835;$$

$$t=0.35 \text{ мм}, Ra=45.53 \cdot S - 0.09165 \cdot S \cdot V - 15.9 \cdot S^2 - 0.0005312 \cdot V^2 + 0.16592 \cdot V - 13.02.$$

Проверка состоятельности полученных зависимостей производилась с использованием критерия Фишера [8,9]. Также была проведена дополнительная экспериментальная проверка, при назначении режимов, которые не входили в выборку экспериментальных данных. По результатам 4 экспериментов погрешность не превышала 12%.

В результате проверки была подтверждена применимость представленных выше зависимостей для назначения режимов чистовой токарной обработки втулок цилиндрических буровых насосов рассматриваемой конструкции.

ВЫВОДЫ

1 Были проведены экспериментальные исследования по чистовой токарной обработке втулок цилиндрических буровых насосов, изготовленных из серого чугуна с упрочненным слоем. В результате были получены данные для формирования эмпирических зависимостей между режимами обработки и качеством поверхности (по критерию шероховатости).

2 На основе планирования и выполнения полного факторного эксперимента были построены поверхности отклика и уравнения, которые показывают взаимосвязь между технологическими режимами (скоростью резания и продольной подачей) и среднеарифметическим отклонением профиля. Исследования проводились при двух значениях глубины резания.

3 Была обоснована состоятельность полученных эмпирических зависимостей на основе использования критерия Фишера. Также возможность использования полученных зависимостей для назначения режимов чистовой токарной обработки втулок из серого чугуна с упрочненным слоем была подтверждена в результате дополнительной экспериментальной проверки.

4. На основе выполненных исследований параметров упрочненного слоя, который был получен при различных составах насыщающей среды установлено, что имеется возможность управлять конфигурацией слоя за счет изменения состава второго оксида;

5. В результате расчетов методом конечных элементов было показано, что применение разработанного метода упрочнения позволяет повышать механическую прочность;

6. Регрессионный анализ полученных результатов дал возможность описать зависимости между содержанием второго элемента в составе насыщающей среды и свойствами упрочненного слоя. Проверка по коэффициенту детерминации показала состоятельность полученных зависимостей;

7. Проведенный анализ на основе использования метода ближнего соседа (с разделением на 5 кластеров по уровню качества от наилучшего до наихудшего) были определены режимы процесса, которые обеспечивают получение наиболее рациональной конфигурации слоя.

8. В качестве направлений для дальнейших исследований следует выделить два:

- проработка методологии назначения режимов обработки деталей, которые имеют упрочненный слой с обратным распределением твердости с использованием теоретических методов расчета по критериям температуры в зоне резания и шероховатости обработанной поверхности;

- проведение экспериментальных исследований по выявлению взаимосвязи между износом режущего инструмента и шероховатостью, которая получается при обработке втулок цилиндрических, которые изготовлены из серого чугуна с упрочненным слоем, имеющим обратное распределение твердости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смольянинов, А.В. Разработка процессной модели жизненного цикла осей колесных / А.В. Смольянинов, В.И. Васильев, Е.Ю. Рогов, В.Е. Овсянников // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 1(57). – С. 90–98.
2. Киселев, Б.Р. Исследование износостойкости стальной пары трения в смазочной композиции, содержащей стеараты металлов / Киселев Б.Р., Егоров С.А., Березин К.Г. // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2010. – № 7. – С. 25–28.
3. Заковоротный, В.Л. Системный синергетический синтез управления динамикой металлорежущих станков с учётом эволюции связей / В.Л. Заковоротный [и др.]. – Ростов-на-Дону: Изд. центр Дон. гос. техн. ун-та, 2008. – 324 с.
4. Тугенгольд, А.К. Принципы концептуального подхода к созданию подсистемы «ИНСТРУМЕНТ» в Смарт-паспорте многооперационного станка / А.К. Тугенгольд, А.И. Изюмов // Вестник ДГТУ. № 2 – 2014. – С. 33–41.
5. Influence of Diffusional Surface Alloying on the Hardened-Layer Thickness for Gray-Iron Machine Parts / V. I. Vasil'ev, V. E. Ovsyannikov, R. Y. Nekrasov, Y. A. Tempel // Russian Engineering Research. – 2018. – Vol. 38, No. 11. – P. 901–903. – DOI 10.3103/S1068798X18110187.
6. Венедиктов, А. Н. Определение эффективного коэффициента диффузии вакансий в ультрадисперсном электролитическом железе и его влияния на режимы термической обработки / А. Н. Венедиктов, В. Е. Овсянников, Н. Л. Венедиктов // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2019. – Т. 21, № 3. – С. 106–114. – DOI 10.17212/1994-6309-2019-21.3-106-114.
7. Веселовский, А.А. Термодиффузионное упрочнение деталей гидроцилиндров из серого чугуна алюминием и ванадием в порошковой среде: дис. ... канд. техн. наук : 05.16.01 / А.А. Веселовский. Место защиты: – Магн. гос. техн. ун-т. – Магнитогорск, 2008. – 147 с.
8. Александрова, Е. В. Управление рисками в системе менеджмента качества образовательной организации / Е. В. Александрова, В. Е. Овсянников // Актуальные вопросы менеджмента и систем качества : Материалы региональной научно-практической конференции, Курган, 16 декабря 2016 года / Ответственный за выпуск В.В. Марфицын. – Курган: Курганский государственный университет, 2017. – С. 3–5.
9. Methodology for reducing risk of underperformance of personnel functions / E. Klochko, K. Evdokimov, Yu. Klochko, V. Samorukov // Engineering for Rural Development : Proceedings, Jelgava, 23–25 мая 2018 года. Vol. 17. – Jelgava: Latvia University of Agriculture, 2018. – P. 1213–1222. – DOI 10.22616/ERDev2018.17.N376.
10. Гуревич, Ю. Г. Влияние катализатора (железа) на взаимодействие оксидов с основой феррито-перлитного серого чугуна, обеспечивающее закалку и диффузионное легирование / Ю. Г. Гуревич, В. Е. Овсянников, В. А. Фролов. – Курган : Курганский государственный университет, 2013. – 102 с.
11. Гуревич, Ю. Г. Диффузионное хромирование деталей из ферритно-перлитного серого чугуна / Ю. Г. Гуревич, В. Е. Овсянников, В. А. Фролов // Машиностроение и инженерное образование. – 2011. – № 2(27). – С. 2–10.
12. Патент № 2493289 С1 Российская Федерация, МПК C23C 10/36, C23C 10/60. Способ диффузионного титанирования изделий из чугуна : № 2012116651/02 : заявл. 24.04.2012 : опубл. 20.09.2013 / Ю. Г. Гуревич, В. Е. Овсянников, В. А. Фролов, П. А. Суханов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Курганский государственный университет».
13. Овсянников, В. Е. Экспертная система проектирования технологического оборудования / В. Е. Овсянников, В. И. Васильев // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 1–1(33). – С. 19.
14. Остапчук, А. К. Метод оценки погрешности формы деталей гидравлических систем транспортных машин / А. К. Остапчук, Е. Ю. Рогов, В. Е. Овсянников // Транспорт Урала. – 2011. – № 2(29). – С. 38–40.
15. Васильев, В. И. Информационная структура поста диагностирования автомобиля / В. И. Васильев, В. Е. Овсянников, Е. А. Войтеховская // Инженерный вестник Дона. – 2014. – № 2(29). – С. 58.
16. Коднянко, М. Ю. Исследование работы быстроизнашиваемых узлов бурового насоса / М. Ю. Коднянко, А. А. Дубовский, Е. В. Коднянко // Актуальные вопросы машиноведения. – 2020. – Т. 9. – С. 195–198.
17. Управление рисками / Исполн. ред. Дж. Пикфорд [Пер. с англ. О. Н. Матвеевой]. – М.: Вершина, 2004. – 349 с.
18. Леонтьев Д. С. Анализ методов обоснования и принятия решений при проведении ГТМ с целью ограничения водопотоков / Д. С. Леонтьев, И. И. Клещенко, Д. В. Жапарова // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2016. – № 1. – С. 53–61. 10.31660/0445-0108-2016-1-53-61.
19. Клочков, Ю. С. Учет неопределенности при проведении процедуры FMEA-анализа / Ю. С. Клочков, Г. А. Фокин, О. В. Сыровацкий // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2021. – Т. 23. – № 6(104). – С. 26–32. – DOI 10.37313/1990-5378-2021-23-6-26-32.
20. Methodology for reducing risk of underperformance of personnel functions / E. Klochko, K. Evdokimov, Yu. Klochko, V. Samorukov // Engineering for Rural Development : Proceedings, Jelgava, 23–25 мая 2018 года. Vol. 17. – Jelgava: Latvia University of Agriculture, 2018. – P. 1213–1222. – DOI 10.22616/ERDev2018.17.N376.

EXPERIMENTAL STUDY OF SURFACE QUALITY DURING TREATMENT OF CYLINDER ASSEMBLIES OF DRILLING PUMPS

© 2025 R.Yu. Nekrasov, Y.S. Klochkov

Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia

This article discusses the impact of machining the actuating surfaces of mud pump liners. As a structural material, gray cast iron is used, which is subjected to surface strengthening by alloying in contact with a mixture of oxides. As a result, a layer with special properties is formed on the actuating surface of the sleeve of the drilling pump cylinder. A distinctive feature of the layer is the reverse nature of the hardness distribution (hardness increases along the depth of the layer). There is also pure ferrite on the surface (the thickness of which can be controlled by the composition of the saturating mixture). Studies of the process of machining parts with the specified surface configuration were carried out. A complete factor experiment was planned and performed. As a result of data processing, dependencies were obtained to determine the arithmetic mean deviation of the profile from technological modes. The obtained dependencies can be used to assign finishing modes to parts, including cylinder bushings of drilling pumps.

Key words: bushings, turning, machining, turning, experiment, cutting modes.

DOI: 10.37313/1990-5378-2025-27-6-133-140

EDN: WPDXXS

REFERENCES

1. Smol'yaninov, A.V. Razrabotka processnoj modeli zhiznennogo cikla osey kolesnyh / A.V. Smol'yaninov, V.I. Vasil'ev, E.Yu. Rogov, V.E. Ovsyannikov // Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya. – 2023. – № 1(57). – S. 90–98.
2. Kiselev, B.R. Issledovanie iznosostojkosti stal'noj pary treniya v smazochnoj kompozicii, soderzhashchej stearaty metallov / Kiselev B.R., Egorov S.A., Berezin K.G. // Trenie i smazka v mashinah i mekhanizmah. – 2010. – № 7. – S. 25–28.
3. Zakovorotnyj, V.L. Sistemnyj sinergeticheskij sintez upravleniya dinamikoj metallovezhushchih stankov s uchotom evolyucii svyazej / V.L. Zakovorotnyj [i dr.]. – Rostov-na-Donu: Izd. centr Don. gos. tekhn. un-ta, 2008. – 324 s.
4. Tugengol'd, A.K. Principy konceptual'nogo podhoda k sozdaniyu podsistemy "INSTRUMENT" v Smart-pasporte mnogooperacionnogo stanka / A.K. Tugengol'd, A.I. Izyumov // Vestnik DGTU. № 2 – 2014. – S. 33–41.
5. Influence of Diffusional Surface Alloying on the Hardened-Layer Thickness for Gray-Iron Machine Parts / V. I. Vasil'ev, V. E. Ovsyannikov, R. Y. Nekrasov, Y. A. Tempel' // Russian Engineering Research. – 2018. – Vol. 38, No. 11. – P. 901–903. – DOI 10.3103/S1068798X18110187.
6. Venediktov, A. N. Opredelenie effektivnogo koefitsienta diffuzii vakansij v ul'tradispersnom elektroliticheskom zheleze i ego vliyaniya na rezhimy termicheskoj obrabotki / A. N. Venediktov, V. E. Ovsyannikov, N. L. Venediktov // Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty). – 2019. – T. 21, № 3. – S. 106–114. – DOI 10.17212/1994-6309-2019-21.3-106-114.
7. Veselovskij, A.A. Termidiffuzionnoe uprochnenie detalej gidrocilindrov iz serogo chuguna alyuminiem i vanadiem v poroshkovoj srede: dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.16.01 / A.A. Veselovskij. Mesto zashchity: – Magn. gos. tekhn. un-t. – Magnitogorsk, 2008. – 147 s.
8. Aleksandrova, E. V. Upravlenie riskami v sisteme menedzhmenta kachestva obrazovatel'noj organizacii / E. V. Aleksandrova, V. E. Ovsyannikov // Aktual'nye voprosy menedzhmenta i sistem kachestva : Materialy regional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii, Kurgan, 16 dekabrya 2016 goda / Otvetstvennyj za vypusk V.V. Marficyan. – Kurgan: Kurganskij gosudarstvennyj universitet, 2017. – S. 3–5.
9. Methodology for reducing risk of underperformance of personnel functions / E. Klochkova, K. Evdokimov, Yu. Klochkov, V. Samorukov // Engineering for Rural Development : Proceedings, Jelgava, 23–25 maya 2018 goda. Vol. 17. – Jelgava: Latvia University of Agriculture, 2018. – P. 1213–1222. – DOI 10.22616/ERDev2018.17.N376.
10. Gurevich, Yu. G. Vliyanie katalizatora (zheleza) na vzaimodejstvie oksidov s osnovnoj ferrito-perlitnogo serogo chuguna, obespechivayushchee zakalku i diffuzionnoe legirovanie / Yu. G. Gurevich, V. E. Ovsyannikov, V. A. Frolov. – Kurgan : Kurganskij gosudarstvennyj universitet, 2013. – 102 s.
11. Gurevich, Yu. G. Diffuzionnoe hromirovanie detalej iz ferritno-perlitnogo serogo chuguna / Yu. G. Gurevich, V. E. Ovsyannikov, V. A. Frolov // Mashinostroenie i inzhenernoe obrazovanie. – 2011. – № 2(27). – S. 2–10.
12. Patent № 2493289 C1 Rossijskaya Federaciya, MPK C23C 10/36, C23C 10/60. Sposob diffuzionnogo titanirovaniya izdelij iz chuguna : № 2012116651/02 : zayavl. 24.04.2012 : opubl. 20.09.2013 / Yu. G. Gurevich, V. E. Ovsyannikov, V. A. Frolov, P. A. Suhanov ; zayavitel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovaniya "Kurganskij gosudarstvennyj universitet".
13. Ovsyannikov, V. E. Ekspertnaya sistema proektirovaniya tekhnologicheskogo oborudovaniya / V. E. Ovsyannikov, V. I. Vasil'ev // Inzhenernyj vestnik Dona. – 2015. – № 1-1(33). – S. 19.
14. Ostapchuk, A. K. Metod ocenki pogreshnosti formy detalej gidravlicheskih sistem transportnyh mashin / A. K. Ostapchuk, E. Yu. Rogov, V. E. Ovsyannikov // Transport Urala. – 2011. – № 2(29). – S. 38–40.
15. Vasil'ev, V. I. Informacionnaya struktura posta diagnostirovaniya avtomobilya / V. I. Vasil'ev, V. E. Ovsyannikov, E. A. Vojtekhovskaya // Inzhenernyj vestnik Dona. – 2014. – № 2(29). – S. 58.
16. Kodnyanko, M. Yu. Issledovanie raboty bystroiznashivaemyh uzlov burovogo nasosa / M. Yu. Kodnyanko, A. A. Dubovskij, E. V. Kodnyanko // Aktual'nye voprosy mashinovedeniya. – 2020. – T. 9. – S. 195–198.
17. Upravlenie riskami / Ispoln. red. Dzh. Pikford [Per. s angl. O. N. Matveevoj]. – M.: Vershina, 2004. – 349 c.
18. Leont'ev D. S. Analiz metodov obosnovaniya i prinyatiya reshenij pri provedenii GTM s cel'yu ogranicheniya vodoprotokov / D. S. Leont'ev, I. I. Kleshchenko, D. V. Zhaparova // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Neft' i gaz. – 2016. – № 1. – S. 53–61. 10.31660/0445-0108-2016-1-53-61.
19. Klochkov, Yu. S. Uchet neopredelennosti pri provedenii procedury FMEA-analiza / Yu. S. Klochkov, G. A. Fokin, O. V. Syrovacskij // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. – 2021. – T. 23. – № 6(104). – S. 26–32. – DOI 10.37313/1990-5378-2021-23-6-26-32.
20. Methodology for reducing risk of underperformance of personnel functions / E. Klochkova, K. Evdokimov, Yu. Klochkov, V. Samorukov // Engineering for Rural Development : Proceedings, Jelgava, 23–25 maya 2018 goda. Vol. 17. – Jelgava: Latvia University of Agriculture, 2018. – P. 1213–1222. – DOI 10.22616/ERDev2018.17.N376.

Roman Nekrasov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Mechanical Engineering Technology. E-mail: nekrasovrj@tyuiu.ru,

Yuri Klochkov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Acting Rector. E-mail: y.kloch@mail.ru