

УДК 621.77.04

DOI 10.18698/0536-1044-2017-9-85-92

Технологические основы повышения износостойкости деталей электромеханической поверхностной закалкой

Л.В. Федорова, С.К. Федоров, Ю.С. Иванова, А.М. Ломпас

МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

Technological Principles of Increasing Wear Resistance of Parts by Electromechanical Surface Hardening

L.V. Fedorova, S.K. Fedorov, Y.S. Ivanova, A.M. Lompas

BMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1



e-mail: fedorova.lv@bmstu.ru, momd@yandex.ru, ivanovays@bmstu.ru, andreilompas@mail.ru



Важное место в повышении долговечности широкого класса деталей машин отводится качеству металла не всего сечения изделия, а структурному состоянию и физико-механическим свойствам поверхностного слоя. Именно поверхностный слой определяет эксплуатационные свойства деталей — износостойкость, прочность, сопротивление материала усталостному разрушению, контактную выносливость, коррозионную стойкость и др. К настоящему времени имеющиеся возможности для повышения износостойкости поверхностей способами только объемной термической обработки практически полностью себя исчерпали. Для увеличения долговечности деталей ведущие российские и зарубежные предприятия используют такие способы повышения качества поверхностного слоя, как поверхностное пластическое деформирование, химико-термическая обработка, финишная антифрикционная безабразивная обработка, финишное плазменное упрочнение, безабразивная ультразвуковая финишная обработка, электроискровое легирование, лазерная и плазменная закалка. Наиболее эффективным направлением снижения себестоимости изготовления деталей и повышения качества машин являются технологии обработки поверхностей концентрированными потоками энергии, имеющие ряд общих особенностей, выгодно отличающих их от других способов термообработки. К таким технологиям относится электромеханическая поверхностная закалка деталей из стали, результаты применения которой позволяют повысить износостойкость замков буровых труб и обеспечить сохранность обсадной колонны путем закалки поверхностного слоя замков.

Ключевые слова: упрочнение замков буровых труб, электромеханическая поверхностная закалка, износостойкость трущихся поверхностей, электромеханическая обработка, твердость поверхностного слоя



The durability of a wide range of machine parts largely depends not on the metal quality throughout the cross-section of the part but on the structural condition and physical and mechanical properties of the surface layer. It is the surface layer that determines operational properties of the parts such as wear resistance, strength, material resistance to fatigue failure, contact fatigue, corrosion resistance and other properties. At present, the existing methods of increasing surface wear resistance by only volumetric heat treatment have been nearly exhausted. To increase durability, leading manufacturers in Russia and abroad use surface plastic deformation, chemical and thermal treatment, finish anti-friction abrasive

treatment, finish plasma hardening, non-abrasive ultrasonic finishing, laser and plasma hardening, and electric spark alloying to improve the surface layer quality. The most effective way to reduce the cost of manufacturing and improve the machine quality is the technology of surface treatment by concentrated energy flows. These surface treatment methods have a number of features that favorably distinguish them from other heat treatment options. One of such methods is electromechanical surface hardening of steel parts. Using this technology, it is possible to improve wear resistance of tool joints and ensure safety of the casing through the tool joint surface hardening.

Keywords: tool joint hardening, electromechanical surface hardening, wear resistance of rubbing surfaces, electromechanical treatment, surface layer hardness

Повышение износостойкости трущихся поверхностей деталей машин и технологического оборудования является важнейшим резервом эффективности работы предприятий. Одним из направлений повышения износостойкости деталей из стали является увеличение поверхностной твердости и формирование мелкодисперсной мартенситной структуры. Этого можно достичь объемной термической обработкой, закалкой токами высокой частоты, лазерной закалкой и другими способами обработки поверхностного слоя концентрированными потоками энергии [1–7].

Специфика работы экспериментальных и ремонтных организаций, производящих штучные изделия или детали небольшими партиями, не позволяет им содержать цеха и участки с оборудованием и квалифицированными специалистами, способными обеспечить качество изготовления деталей машин на уровне промышленных предприятий.

Однако даже машиностроительные предприятия не гарантируют необходимого качества выполнения исполнительных поверхностей для широкой номенклатуры деталей, прежде всего по твердости, шероховатости, структуре и текстуре волокон металла. На одной детали в разных комбинациях находятся посадочные места под подшипники качения и скольжения, шлицы и шпоночные пазы, зубчатые профили, отверстия, резьба и галтели. Поскольку условия эксплуатации и схемы нагрузки перечисленных поверхностей неодинаковые, их оптимальные показатели нельзя обеспечить только способом термической или химико-термической обработки [8–10].

Электромеханическая поверхностная закалка (ЭМПЗ) — один из способов обработки заготовок концентрированными потоками энергии, формирующим высокие показатели качества поверхностного слоя деталей из стали. Особенностью ЭМПЗ является не только объединение

в единой технологической схеме обработки заготовок и деталей эффектов поверхностного пластического деформирования и термомеханической закалки, но и возможность формирования на поверхности градиентных закаленных слоев металла с мелкодисперсной структурой [11–15].

Цель работы — определение износостойкости поверхностного слоя образцов замков буровых труб при их трении об абразивные частицы после ЭМПЗ.

ЭМПЗ на токарно-винторезных станках (рис. 1) осуществляется при главных движениях — вращении заготовки 2 с частотой n и поступательном перемещении с подачей S инструментального ролика 8, расположенного в телескопической державке 9. Заготовку 2 зажимают в трехкулачковом самоцентрирующемся патроне 1 станка и со свободного конца поджимают вращающимся центром 5. Державку

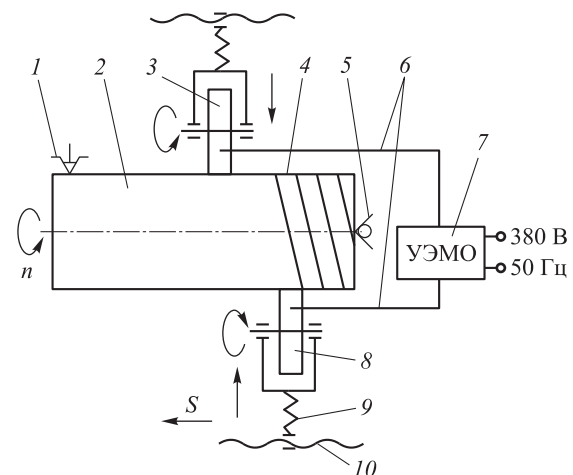


Рис. 1. Принципиальная схема ЭМПЗ заготовки на токарно-винторезном станке:

- 1 — трехкулачковый самоцентрирующий патрон;
- 2 — заготовка; 3 и 8 — токоподводящий и инструментальный ролики; 4 — обработанная поверхность; 5 — вращающийся центр;
- 6 — токоподводящие шины; 7 — установка электромеханической обработки; 9 — телескопическая державка; 10 — ходовой винт станка

устанавливают в резцедержатель верхнего суппорта станка, а движение подачи S от коробки подач через его ходовой винт 10 передается инструментальному ролику 8 . Электрический ток промышленной частоты 50 Гц через установку электромеханической обработки (УЭМО) 7 и силовые токоподводящие шины 6 с преобразованными параметрами силы и напряжения вторичной цепи поступает к токоподводящему 3 и инструментальному 8 роликам. Эти ролики поджаты к поверхности заготовки и совершают вращение на оси приспособлений.

В зоне контакта инструментального ролика с обрабатываемой поверхностью происходит нагрев локальной области заготовки до температуры $1\,000 \dots 1\,200$ °С и быстрое охлаждение поверхностного слоя. Скорость охлаждения нагретого поверхностного слоя заготовки достигает $2\,600$ °С/с, что значительно выше, чем охлаждение в масло или воду. Размеры зоны нагрева поверхности зависят от технологических факторов обработки: усилия прижатия инструмента к детали, формы и размера инструментального ролика, подачи, твердости и теплопроводности материала, режимов обработки и теплоотдачи инструментального материала.

При ЭМПЗ наибольшее влияние на формирование структуры и, как следствие, свойств поверхностного слоя деталей оказывает температура в зоне контакта инструмент–поверхность проходящим электрическим током в результате преобразования электрической энергии в тепловую.

Являясь одним из способов контактной обработки заготовок концентрированным источником электрической энергии, ЭМПЗ характеризуется специфическими особенностями. При ЭМПЗ нагрев–выдержка–деформирование–охлаждение осуществляются в закрытой зоне термомеханического контакта инструмент–заготовка за сотые доли секунды. Температура в зоне обработки достигает $1\,000 \dots 1\,100$ °С и более.

Охлаждение нагретого поверхностного слоя происходит в результате отвода тепла нижележащими слоями металла.

Общее количество теплоты, выделенной в зоне контакта инструмент–заготовка при ЭМПЗ, определяется по формуле

$$Q_{\text{ЭМПЗ}} = \eta I_2 U_2 \tau,$$

где η — коэффициент, учитывающий потери электрического тока во вторичной цепи; I_2 —

сила тока во вторичной цепи, А; U_2 — напряжение вторичной цепи, В; τ — время обработки, с.

Количество теплоты Q_{τ} , поглощаемое в высокотемпературной зоне поверхности детали и инструмента за время обработки τ ,

$$Q_{\tau} = 0,24\eta I_2 U_2 \tau k_d k_{ii}, \quad (1)$$

где k_d и k_{ii} — коэффициенты, учитывающие отвод тепла в деталь и инструмент.

С другой стороны, исходя из уравнения теплового баланса:

$$Q_{\tau} = H\delta V\gamma C T_{\tau}, \quad (2)$$

где $H\delta V\gamma = g$ — масса высокотемпературного объема, кг (H — глубина зоны высокотемпературного воздействия, м; δ — глубина закалки, м; V — ширина высокотемпературной зоны, м; γ — плотность, кг/м³); C — удельная теплоемкость металла, Дж/кг °С; T_{τ} — температура фазовых превращений металла, °С.

Приравняв выражения (1) и (2), получим формулу для определения глубины закалки δ исходя из экспериментально подтвержденных электрических режимов обработки и свойств материала заготовки:

$$\delta = (0,24\eta I_2 U_2 \tau k_d k_{ii}) / (H V \gamma C T_{\tau}).$$

ЭМПЗ подразделяется на технологии, требующие последующей механической обработки, и на способы, при которых поверхностная закалка является окончательной обработкой.

Износные испытания выполнены в соответствии с тестом American Society for Testing and Materials (ASTM G65) «Стандартная методика измерения абразивного истирания при помощи установки «Сухой песок / Резиновое колесо» и ГОСТ 23.208–79 «Обеспечение износостойкости изделий. Метод испытания материалов на износостойкость при трении о нежестко закрепленные абразивные частицы».

Образцы для износных испытаний изготовлены из замков стальных бурильных труб СБТ89 группы прочности G105. В исходном состоянии на производстве такие замки подвергают закалке и высокому отпуску. Исследования химического состава материала замков бурильных труб (табл. 1) выполнены согласно ГОСТ Р 54153–2010 на универсальном лазерном атомно-эмиссионном спектрометре модели СПЕКС ЛАЭС МАТРИКС.

Твердость поверхностного слоя исходных образцов, измеренная переносным твердоме-

Таблица 1

Результаты исследования химического состава образцов

Тип обработки образцов	C	Cr	Mn	Ni	Si	Cu	Mo	P	S
Закалка и высокий отпуск	0,31	1,04	0,65	0,13	0,21	0,12	0,27	0,010	0,004
ЭМПЗ	0,28	1,02	0,67	0,28	0,25	0,23	0,16	0,012	0,006

ром МЕТ У1, составила 32...36 HRC. На токарно-винторезном станке замок бурильной трубы по наружному диаметру точили до размера 125 мм, растачивали по внутреннему диаметру до 115 мм и отрезали резцом на высоту 20 мм. Затем на отрезном станке кольцо разрезали на сегменты под углом 30°. Вторую партию образцов после предварительной токарной обработки подвергали ЭМПЗ и последующему чистовому точению минералокерамической пластиной ВОК-71, после чего, как и первую партию, разрезали на сегменты под углом 30°. Шероховатость исследуемых поверхностей образцов по ГОСТ 2789-73 соответствовала классу 5.

Принципиальная схема испытаний и общий вид стенда для износных испытаний приведены на рис. 2. Образец 2 неподвижно закреплен на основании маятникового рычага 1, с торца которого ввинчен рычаг 6. На правый край этого рычага подвешивали груз, который обеспечивал постоянную нагрузку в зоне контакта образца и резинового ролика 3. Через вращающийся дозатор 4 по направляющему лотку 5 в зону контакта образца и резинового

ролика подается абразив. Продолжительность испытаний, установленная стандартами ASTM и ГОСТ 23.208-79 составляла 30 мин на каждый образец.

В качестве абразивного материала использовали кварцевый песок зернистостью 16 мкм (или 16П), который просеивали и высушивали в муфельной печи. Износ образцов определяли взвешиванием на аналитических весах A&D GR-200 до и после испытаний с максимальной массой взвешивания 210 г и точностью 0,0001 г. Перед взвешиванием образцы протирали ацетоном, продували воздухом и сушили в муфельной печи при температуре 60 °С.

Металлографические исследования образцов выполнены на кафедре материаловедения МГТУ им. Н.Э. Баумана. Резку образца для металлографических исследований по наружному диаметру проводили на станке Struers Discotom-6 с выбранным режимом подачи диска 0,13 мм/с при обильном охлаждении водой. Горячую запресовку шлифов и их последующее шлифование осуществляли на прессе Struers Citopress-20 и на шлифовально-полировальном станке Struers Tegramin-25.

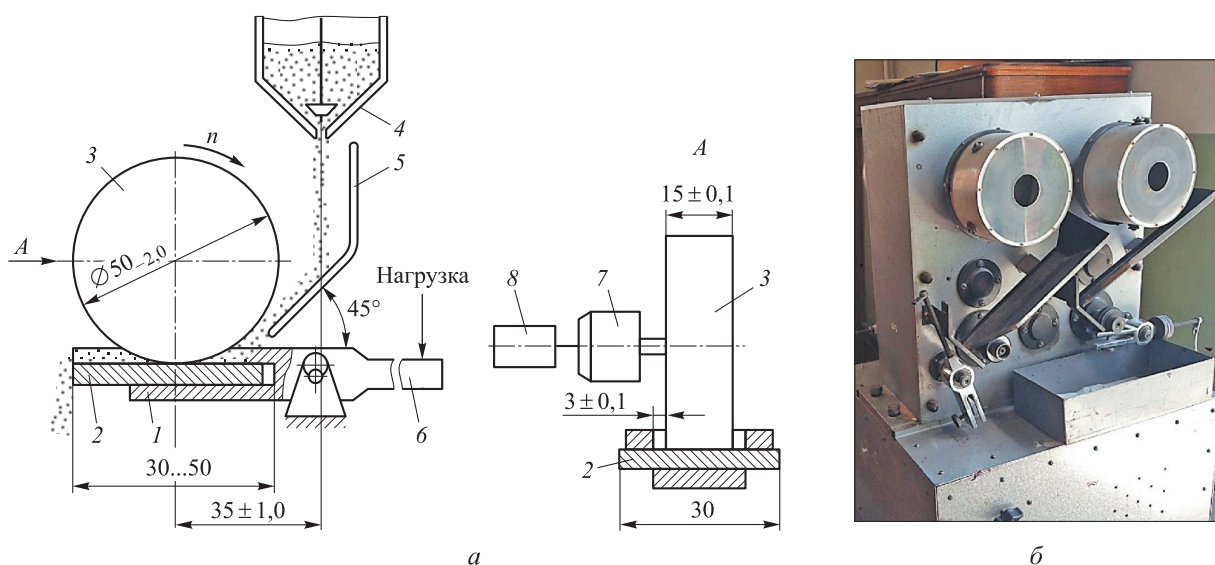


Рис. 2. Схема (а) и общий вид (б) стенда для износных испытаний

1 — маятниковый рычаг; 2 — образец; 3 — резиновый ролик; 4 — дозатор подачи абразивных частиц; 5 — направляющий лоток; 6 — рычаг; 7 — привод; 8 — устройство контроля суммарного числа оборотов ролика

Твердость поверхностного слоя образцов (табл. 2) измеряли на микрошлифах микротвердомером EMCO-TEST DuraScan на глубине 0,1 мм от наружного диаметра вдоль упрочненных поверхностей. Исходные образцы после улучшения имеют твердость в интервале HV 3 200...3 600 МПа, что соответствует техническим требованиям, предъявляемым к замкам для бурильных труб. В результате ЭМПЗ максимальная твердость поверхностного слоя замков, изготовленных из стали марки 30ХГМА, увеличилась до HV 6 500 МПа. Отличительной особенностью ЭМПЗ является наличие зон отпуска с минимальной твердостью HV 3 800 МПа.

Исследование микроструктуры образцов после ЭМПЗ выполняли на металлографическом микроскопе Olympus GX51. Результаты исследования структуры образцов из сталей 55ПП, 65Г и 22ГЮ (рис. 3) и других среднеуглеродистых конструкционных сталей свидетельствуют о формировании в зонах закалки мелкодисперсного мартенсита. В зонах перекрытия по-

Таблица 2

**Значения твердости
поверхностного слоя образцов**

Тип обработки образцов	Твердость HV, МПа
Закалка и высокий отпуск	3 200...3 600
ЭМПЗ	6 500...3 800

верхностей формируется структура сорбит. На испытуемых образцах после ЭМПЗ с шагом 3 мм ширина треков высокой твердости составила 2,8 мм. Зоны с пониженной твердостью HV 3 800 МПа имели ширину до 0,2 мм. Максимальная глубина закалки, измеренная в средней части треков, составила 0,8 мм.

Анализ результатов исследований (табл. 3) показал, что в условиях силового контакта резинового ролика с постоянной подачей в зону трения абразива в течение 30 мин испытаний износостойкость поверхностного слоя стали 30ХГМА после ЭМПЗ увеличилась в 2,3 раза.

ЭМПЗ образцов выполняли по схеме нанесения треков закалки при перекрытии зон

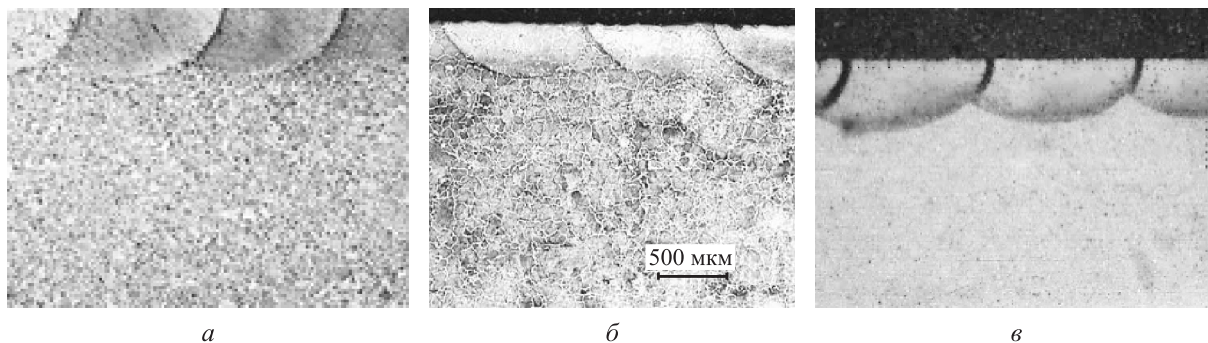


Рис. 3. Микроструктура образцов из сталей 55ПП (а), 65Г (б) и 22ГЮ (в) после ЭМПЗ

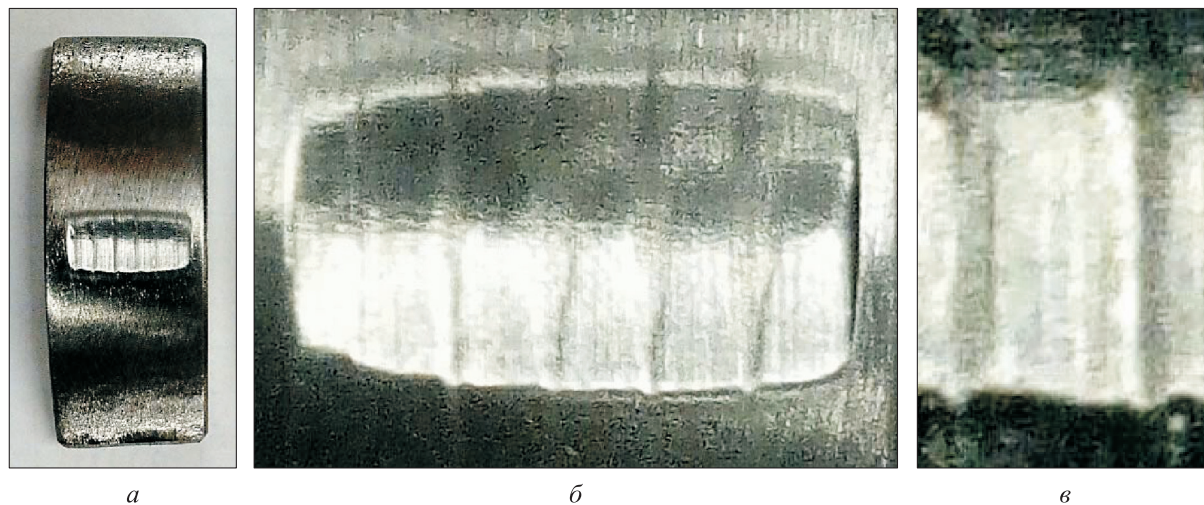


Рис. 4. Образец после испытаний (а), фрагмент зоны износа (б) и характер износа поверхности (в) после ЭМПЗ

Таблица 3

Результаты износных испытаний

Тип обработки образцов	Масса образцов, г		Износ, г	Среднее значение износа, г
	до испытаний	после испытаний		
Закалка и высокий отпуск	71,1293	70,8318	0,2975	0,2869
	75,3717	75,0999	0,2718	
	74,3325	74,0412	0,2913	
ЭМПЗ	75,5187	75,3999	0,1188	0,1213
	66,4802	66,3466	0,1336	
	68,5438	68,4322	0,1116	

термомеханической обработки. При рассмотрении образца и участков контакта после испытаний (рис. 4, а и б) отчетливо наблюдается превалирующий износ зон пониженной твердости (рис. 4, в), образующихся при перекрытии треков закалки. Структура поверхностного слоя после ЭМПЗ имеет градиентные слои, различающиеся по твердости, размеру и форме зерен металла.

Выводы

1. В условиях абразивного износа существующая технология упрочнения замков буриль-

ных труб твердостью 32...36 HRC не обеспечивает высокой износостойкости поверхностного слоя.

2. ЭМПЗ, являясь одним из методов упрочнения деталей концентрированным потоком электрической энергии промышленной частоты, формирует на поверхности градиентные слои твердостью до 52 HRC (сталь 30ХГМА) глубиной до 0,8 мм.

3. Износостойкость образцов после ЭМПЗ увеличилась в 2,3 раза, что позволяет использовать результаты исследований для закалки замков бурильных труб при их изготовлении и ремонте.

Литература

- [1] Пахомова С.А., Рыжова М.Ю., Фахуртдинов Р.С., Макушина М.А., Пикалов А.И., Усова В.В., Юшин Н.А. Контактная выносливость и износостойкость теплостойкой стали после разных видов цементации. *Вестник научно-технического развития*, 2016, № 9(109), с. 19–28.
- [2] Пахомова С.А., Фахуртдинов Р.С., Рыжова М.Ю. Особенности вакуумной цементации деталей для горнодобывающей промышленности. *Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта*, 2016, № 3, с. 108–116.
- [3] Карпужин С.Д., Быков Ю.А. *Световая микроскопия и количественная обработка изображений структур материалов*. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. 48 с.
- [4] Fakhurtdinov R.S., Ryzhova M.Y., Pakhomova S.A. Advantages and commercial application problems of vacuum carburization. *Polymer Science, Series D*, 2017, vol. 10, is. 1, pp. 79–83.
- [5] Быков Ю.А., Унчикова М.В., Пахомова С.А., Помельникова А.С., Силаева В.И. Методика выбора материала и технологии термической обработки деталей машиностроения. *Заготовительные производства в машиностроении*, 2015, № 8, с. 43–47.
- [6] Помельникова А.С., Фетисов Г.П., Пахомова С.А. К вопросу упрочнения различно легированных сталей обработкой в коронном разряде. *Технология металлов*, 2017, № 2, с. 20–24.
- [7] Куксенова Л.И., Герасимов С.А., Лаптева В.Г., Алексеева М.С. Физические основы критериальной оценки технологии азотирования деталей узлов трения. *Металловедение и термическая обработка металлов*, 2012, № 12, с. 39–47.
- [8] Pakhomova S.A., Unchikova M.V., Fakhurtdinov R.S. Gear wheels surface engineering by deformation hardening and carburization. *Materials Science Forum*, 2016, vol. 870, pp. 383–391.

- [9] Pakhomova S.A., Ryzhov N.M., Vasilev V.R. Changes in the structure of marten site of iron nickel alloys under the action of thermal shot blast treatment. *Metal Science and Heat Treatment*, 2001, vol. 43, no. 11–1, pp. 438–439.
- [10] Pakhomova S.A., Ryzhov N.M. *Change of structure and properties of iron-nickel alloys in shot-impact hardening. Metal Science and Heat Treatment*, 1990, vol. 32, no. 5–6, pp. 422–426.
- [11] Шиловский А.В. Хардбандинг на защите бурильной трубы. *Бурение и нефть*, 2016, № 4, с. 58–59.
- [12] Федорова Л.В., Федоров С.К., Сержант А.А., Головин В.В., Систеров С.В. Электромеханическая поверхностная закалка сталей для насосно-компрессорных труб. *Металловедение и термическая обработка металлов*, 2017, № 3, с. 41–44.
- [13] Федорова Л.В., Федоров С.К., Иванова Ю.С., Исаев К.Р. Структура и износостойкость стали 65Г после электромеханической поверхностной закалки. *Технология металлов*, 2017, № 3, с. 27–31.
- [14] Морозов А.В., Федорова Л.В., Горев Н.Н., Шамуков Н.И. Исследование влияния режимов сегментной электромеханической закалки на формирование участков регулярной микротвердости. *Сборка в машиностроении, приборостроении*, 2016, № 2, с. 24–27.

References

- [1] Pakhomova S.A., Ryzhova M.Iu., Fakhurtdinov R.S., Makushina M.A., Pikalov A.I., Usova V.V., Iushin N.A. Kontaktnaia vynoslivost' i iznosostoikost' teplostoikoii stali posle raznykh vidov tsementatsii [Contact fatigue and wear resistance of heat-resistant steel after different kinds of carburizing]. *Vestnik nauchno-tekhnicheskogo razvitiia* [Bulletin of scientific-technical development]. 2016, no. 9(109), pp. 19–28.
- [2] Pakhomova S.A., Fakhurtdinov R.S., Ryzhova M.Iu. Osobennosti vakuumnoi tsementatsii detalei dlia gornodobyvaiushchei promyshlennosti [Features vacuum carburizing parts for the mining industry]. *Sovremennye innovatsionnye tekhnologii podgotovki inzhenernykh kadrov dlia gornoj promyshlennosti i transporta* [Contemporary innovation technique of the engineering personnel training for the mining and transport industry]. 2016, no. 3, pp. 108–116.
- [3] Karpukhin S.D., Bykov Iu.A. *Svetovaia mikroskopiia i kolichestvennaia obrabotka izobrazhenii struktur materialov* [Light microscopy and quantitative image processing of material structures]. Moscow, Bauman Press, 2003. 48 p.
- [4] Fakhurtdinov R.S., Ryzhova M.Y., Pakhomova S.A. Advantages and commercial application problems of vacuum carburization. *Polymer Science, Series D*, 2017, vol. 10, is. 1, pp. 79–83.
- [5] Bykov Iu.A., Unchikova M.V., Pakhomova S.A., Pomel'nikova A.S., Silaeva V.I. Metodika vybora materiala i tekhnologii termicheskoi obrabotki detalei mashinostroeniia [Selection method of material and heat treatment technology for mechanical engineering parts]. *Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii* [Blanking Productions in Mechanical Engineering]. 2015, no. 8, pp. 43–47.
- [6] Pomel'nikova A.S., Fetisov G.P., Pakhomova S.A. K voprosu uprochneniia razlichno legirovannykh stalei obrabotkoi v koronnom razriade [On problem of hardening of differently alloyed steels by treatment in corona discharge]. *Tekhnologiya metallov* [Technologiya Metallov]. 2017, no. 2, pp. 20–24.
- [7] Kuksenova L.I., Gerasimov S.A., Lapteva V.G., Alekseeva M.S. Fizicheskie osnovy kriterial'noi otsenki tekhnologii azotirovaniia detalei uzlov treniia [Physical fundamentals of criterial estimation of nitriding technology for parts of friction units]. *Metallovedenie i termicheskaiia obrabotka metallov* [Metallography and heat treatment of metals]. 2012, no. 12, pp. 39–47.
- [8] Pakhomova S.A., Unchikova M.V., Fakhurtdinov R.S. Gear wheels surface engineering by deformation hardening and carburization. *Materials Science Forum*, 2016, vol. 870, pp. 383–391.
- [9] Pakhomova S.A., Ryzhov N.M., Vasilev V.R. Document Changes in the structure of marten site of iron-nickel alloys under the action of thermal shotblast treatment. *Metal Science and Heat Treatment*, 2001, vol. 43, no. 11–1, pp. 438–439.

- [10] Pakhomova S.A., Ryzhov N.M. Change of structure and properties of iron-nickel alloys in shot-impact hardening. *Metal Science and Heat Treatment*, 1990, vol. 32, no. 5–6, pp. 422–426.
- [11] Shilovskii A.V. Khardbanding na zashchite buril'noi truby [Hardbanding on the protection of drill pipe]. *Burenie i neft'* [Drilling and oil]. 2016, no. 4, pp. 58–59.
- [12] Fedorova L.V., Fedorov S.K., Serzhant A.A., Golovin V.V., Systerov S.V. Elektromekhanicheskaya poverkhnostnaia zakalka stali dlia nasosno-kompressornykh trub [Electromechanical surface hardening of tubing steels]. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov* [Metallography and heat treatment of metals]. 2017, no. 3, pp. 41–44.
- [13] Fedorova L.V., Fedorov S.K., Ivanova Iu.S., Isaev K.R. Struktura i iznosostoikost' stali 65G posle elektromekhanicheskoi poverkhnostnoi zakalki [Structure and wear-resistance of 65G steel after electromechanical surface hardening]. *Tekhnologiya metallov* [Technologiya Metallov]. 2017, no. 3, pp. 27–31.
- [14] Morozov A.V., Fedorova L.V., Gorev N.N., Shamukov N.I. Issledovanie vliianiia rezhimov segmentnoi elektromekhanicheskoi zakalki na formirovanie uchastkov reguliarnoi mikrotverdosti [A study on the effect of the segment of electromechanical hardening to form a regular plot microhardness]. *Sborka v mashinostroenii, priborostroenii* [Assembling in Mechanical Engineering and Instrument-Making]. 2016, no. 2, pp. 24–27.

Статья поступила в редакцию 29.05.2017

Информация об авторах

ФЕДОРОВА Лилия Владимировна (Москва) — доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: fedorova.lv@bmstu.ru).

ФЕДОРОВ Сергей Константинович (Москва) — доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки материалов». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: momd@yandex.ru).

ИВАНОВА Юлия Сергеевна (Москва) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: ivanovays@bmstu.ru).

ЛОМПАС Андрей Михайлович (Москва) — аспирант кафедры «Технологии обработки материалов». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: andreilompas@mail.ru).

Information about the authors

FEDOROVA Liliya Vladimirovna (Moscow) — Doctor of Science (Eng.), Professor, Materials Science Department. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: fedorova.lv@bmstu.ru).

FEDOROV Sergey Konstantinovich (Moscow) — Doctor of Science (Eng.), Professor, Department of Technologies of Materials Processing. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: momd@yandex.ru).

IVANOVA Yuliya Sergeevna (Moscow) — Candidate of Science (Eng.), Department of Technologies of Mechanical Engineering. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: ivanovays@bmstu.ru).

LOMPAS Andrey Mikhaylovich (Moscow) — Postgraduate, Department of Technologies of Materials Processing. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: andreilompas@mail.ru).