

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ОПЫТ ПРОИЗВОДСТВА ШАРОВЫХ ПАЛЬЦЕВ  
ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ ИЗ ЭКОНОМНО-ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ**

**Асташенко Владимир Иванович**

*доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры материалов, технологий и качества  
Набережночелнинского института,  
Казанский (Приволжский) федеральный университет  
Набережные Челны, Россия  
E-mail: astvi-52@mail.ru*

**Пуртова Елена Викторовна**

*начальник лаборатории  
металлографического и спектрального анализа,  
ООО «ЗАВОД «ПРОФТЕРМО»  
Набережные Челны, Россия  
E-mail: elena.v.purtova@gmail.com*

**Швеева Татьяна Владимировна**

*кандидат технических наук, доцент,  
доцент Набережночелнинского института,  
Казанский (Приволжский) федеральный университет  
Набережные Челны, Россия  
E-mail: asttv@mail.ru*

**Пуртов Алексей Владимирович**

*Директор департамента –  
главный конструктор цифровых систем проектирования  
ПАО «КАМАЗ»,  
Набережные Челны, Россия  
E-mail: aleksey.purtov@kamaz.ru*

*Предмет исследования: структура и свойства шаровых пальцев после тепловой обработки на различных этапах металлопередела.*

*Цель работы: исследование и обоснование экономно-легированной стали для шаровых пальцев грузового автомобиля.*

*Объект исследования: шаровой палец рулевого управления автомобиля «КАМАЗ».*

*Методы исследования: для изготовления шаровых пальцев использовали сталь 40Х прямого восстановления (40Х-ПВ), выплаваемая из металлургических окатышей на Оскольском электрометаллургическом комбинате (ОЭМК). Определение содержания химических элементов в сталях проводили в соответствии с действующими стандартами, используя приборы «Spectrolab» «Искролайн-100» и анализатор серы и углерода GS-800.*

*Основные результаты исследования: на основе исследований обосновано применение стали 40Х прямого восстановления для шаровых пальцев грузового автомобиля. Разработаны технологии пластической деформации и термической обработки полуфабрикатов, обеспечивающие получение заданной текстуры и структуры сорбита отпуска. Для объемной закалки заготовок вместо масла МЗМ-16 предложена, обоснована и внедрена закалочная среда на основе водорастворимого полимера. Рекомендуемое решение, внедренное для шаро-*

*вых пальцев автомобиля КАМАЗ, позволило получить экономический эффект более 2 млн руб. и снизить трудоемкость при их изготовлении.*

*Ключевые слова: шаровой палец, сталь, твердость, структура, циклическая долговечность, поверхностная закалка, закалочная среда, термообработка.*

**DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY AND EXPERIENCE  
IN THE PRODUCTION OF TRUCK BALL PINS MADE  
OF ECONOMICALLY ALLOYED STEEL**

**Vladimir I. Astashchenko**

*Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Department of Materials, Technology and Quality,  
Naberezhnye Chelny Institute,  
Kazan (Volga Region) Federal University  
Naberezhnye Chelny, Russia  
E-mail: astvi-52@mail.ru*

**Elena V. Purtova**

*Head of Laboratory Metallographic and Spectral Analysis,  
PLANT PROFTERMO  
Naberezhnye Chelny, Russia  
E-mail: elena.v.purtova@gmail.com*

**Tatiana V. Shveeva**

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Naberezhnye Chelny Institute,  
Kazan (Volga Region) Federal University  
Naberezhnye Chelny, Russia  
E-mail: asttv@mail.ru*

**Alexey V. Purtov**

*Director of the Department –  
Chief Designer of Digital Design Systems  
PJSC "KAMAZ"  
Naberezhnye Chelny, Russia  
E-mail: aleksey.purtov@kamaz.ru*

*Subject of research: structure and properties of ball pins after heat treatment at various stages of metal processing.*

*Purpose of the work: research and justification of economically alloyed steel for truck ball pins.*

*Object of research: steering ball pin of a KAMAZ vehicle.*

*Methods of research: for the manufacture of ball pins, 40X direct resistance steel (40X-PV) was used, smelted from metallized pellets at the Oskol Electrometallurgical Plant (OEMK). Determination of the content of basic substances in steels of electrical elements in accordance with current standards, using Spectrolab devices Iskroline-100 and a series analyzer and device GS-800.*

*Main results of research: based on the study, the use of 40X steel to identify truck ball pins was justified. Technologies for plastic deformation and heat treatment of semi-finished products have been developed to ensure the desired texture and structure of tempered sorbitol. For volumetric quenching of workpieces, instead of MZM-16 oil, a quenching medium based on a water-soluble polymer was proposed, justified and introduced. The recommended solution, the implementation of*

*ball pins for a KAMAZ vehicle, will provide an economic effect of more than 2 million US dollars. rub. and reduce the efficiency of their production.*

*Keywords: ball pin, steel, hardness, structure, cyclic durability, surface hardening, quenching medium, heat treatment.*

---

## **Введение**

Рулевой механизм любого транспортного средства является одним из наиболее ответственных и высоконагруженных узлов. Передняя ось автомобиля входит в состав такого механизма, и все ее детали испытывают в эксплуатации разнообразные виды нагрузок – от ударно-силовых и износа в процессе трения – до статических, циклических, температурных и других воздействий. Среди многообразия деталей, входящих в рулевой механизм, большой интерес представляет шаровой палец, который во многих случаях, в стране и за рубежом, изготавливают из цементуемой хромоникелевой стали типа 12ХН3А. Такое решение обосновано необходимостью получения высокой прочности и износостойкости поверхностного цементованного слоя детали в сочетании с высокими пластическими характеристиками металла основы детали. Формирование указанных свойств в деталях достигается путем их упрочнения по специальной технологии, которая включает цементацию при  $920\pm 10^\circ\text{C}$ , подстуживание и выдержку при  $650^\circ\text{C}$  до завершения превращения аустенита в перлит, последующий нагрев до  $870\pm 10^\circ\text{C}$ , закалку в масло и отпуск при  $180\pm 10^\circ\text{C}$  [3-5]. Данная технология весьма трудоемкая, энергозатратная и требует использования специализированных термических агрегатов [3, 13]. Поэтому изыскание новых технических и технологических решений по рациональному выбору стали и упрочняющей обработки тяжело нагруженных и ответственных деталей автомобиля является важной задачей в машиностроении.

Цель работы – исследование и обоснование экономно-легированной стали для шаровых пальцев грузового автомобиля.

Объект исследования – шаровой палец рулевого управления автомобиля «КАМАЗ».

Предмет исследования – структура и свойства шаровых пальцев после тепловой обработки на различных этапах металлопердела.

Материалы и методы исследования. Для изготовления шаровых пальцев использовали сталь 40Х прямого восстановления (40Х-ПВ), выплавляемую из металлизированных окатышей на Оскольском электрометаллургическом комбинате (ОЭМК). Сталь такого способа производства по отношению к стали 40Х обычной выплавки обладает более стабильным составом по содержанию основных и сопутствующих химических элементов, а также меньшим содержанием вредных примесей – серы и фосфора [5]. Определение содержания химических элементов в сталях проводили в соответствии с действующими стандартами, используя приборы «Spectrolab» «Искролайн-100» и анализатор серы и углерода GS-800. По результатам контроля 125 плавок стали 40Х-ПВ установлено, что колебания концентрации углерода, хрома, марганца и кремния составляли, соответственно, 1,16; 1,10; 1,50 и 1,88 раз, что значительно меньше, чем в стали 40Х, полученные при исследовании 204 плавок. Согласно ТУ 14-1-5414-2001, содержание химических элементов в стали 40Х-ПВ должно быть в пределах: углерод – 0,36-0,44 %; хром – 0,8-1,10 %; марганец – 0,5-0,8 %; кремний – 0,17-0,37 %; сера – не более 0,012 % и фосфор – не более 0,015 %. Чистота стали 40Х-ПВ по фосфору и сере в несколько раз превосходит сталь 40Х традиционной выплавки, в которой максимальное содержание каждого из этих элементов составляет до 0,035 %.

Для металлографических исследований использовали микроскопы «Неофот-21» и Olympus GX51 с программным обеспечением SIAMS-800. Выявление текстуры деформированного металла и дефектов металлургического характера проводили после горячего травления проката и полуфабрикатов деталей.

Охлаждающую способность закалочных сред определяли в соответствии с ISO 9950-2015 с помощью термозонда из никелевого сплава [10].

Измерение твердости проводили на приборах ТР 5006М, ТШ-2М, ТК-2М и микротвердомерах ПМТ-3 и Дюримет.

Закаливаемость и прокаливаемость стали изучали методом пробных закалок образцов Ø30x120мм [6].

Склонность стали к образованию трещин при закалке оценивалась на дисковых образцах с канавкой из стали У10А по методике, рекомендуемой А.П. Гуляевым и Е.И. Малинкиной [9]. Выявление трещин на образцах проводили магнитно-люминесцентным методом.

Для определения размера зерна в стали использовали метод окисления в соответствии с ГОСТ 5639-82. Стендовые испытания на изгиб шаровых пальцев выполняли на сервогидравлической машине МТС322.31. Термическую обработку полуфабрикатов, деталей и образцов проводили с использованием лабораторных и промышленных печей, а для нагрева ТВЧ – установку мод. 18SIA (Италия).

### **Результаты и обсуждение**

Инновационным направлением в решении поставленной цели является применение высококачественной стали прямого восстановления. При выборе марки стали должны учитываться технические, технологические, экономические и экологические особенности при ее переделе в машиностроительном производстве. Сталь должна обладать рациональным легированием, иметь широкое применение (недефицитность) в промышленности, обладать технологичностью в производственном цикле изготовления деталей с применением общедоступного и традиционного оборудования, обеспечивать достижение заданных функциональных свойств в изделиях при экономичном расходе топливно-энергетических ресурсов в технологиях металлопередела. В работе для изготовления шаровых пальцев грузового автомобиля «КАМАЗ» взамен стали 12ХНЗА предложена сталь 40Х прямого восстановления (40Х-ПВ), которая более чем в 2 раза дешевле указанной хромоникелевой стали. При производстве такой стали в переплавляемой шихте отсутствует металлолом, что исключает присутствие в ней многих химических элементов, наследуемых из лома [5]. Эти элементы: медь, олово, сурьма, мышьяк и др. – даже в малых количествах оказывают непредсказуемое, а в отдельных случаях – и неблагоприятное влияние на механические свойства стали [11].

Нормативная циклическая долговечность шарового пальца (более 1 млн циклов при нагрузке 90кН) обеспечивается на цементованных деталях из стали 12ХНЗА при соблюдении следующих технических требований: глубина поверхностно-упрочненного слоя 1,5-3,5 мм, твердость поверхности – 56-62HRC и сердцевины – 241-285HV. Кроме того, требованиями оговаривается наличие свободного феррита в структуре материала, который, за исключением сферической части пальца, недопустим.

Для достижения такого комплекса свойств на шаровых пальцах из экономнолегированной стали 40Х-ПВ разработаны, обоснованы и внедрены технологии производственного цикла изготовления полуфабрикатов и деталей.

В качестве первоочередной стадии на этапе изготовления полуфабрикатов шаровых пальцев реализована поперечно-клиноватая прокатка металла заготовок, нагретых до 1200±20°С, которая обеспечила получение не только их геометрических параметров, но и создала благоприятную текстуру деформации по конфигурации детали (рис. 1). За счет такого формирования волокнистого строения в детали, несомненно, получено преимущество по механическим свойствам шарового пальца перед другими видами распределения волокон в металлоизделиях [1].

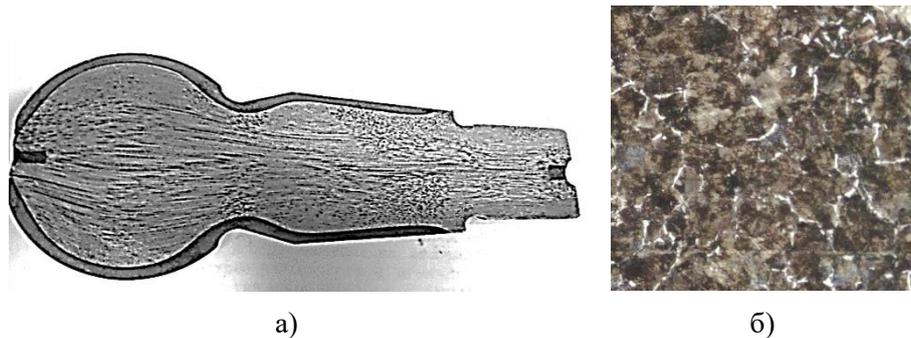


Рисунок 1 – Макростроение (а) и микроструктура (б) шарового пальца после поперечно-клиновой прокатки

Достаточно высокие требования предъявляются к термической обработке полуфабрикатов из стали 40Х-ПВ, которая должна обеспечить получение микроструктуры сорбита при отсутствии зерен феррита и твердости в пределах 285-320НВ.

При данном структурном состоянии и твердости полуфабрикатов в указанных пределах обеспечивается их удовлетворительная обрабатываемость резанием на операциях точения и накатки резьбы. Кроме того, однородная структура в виде сорбита отпуска является благоприятным условием для последующей упрочняющей технологии, включающей скоростной нагрев (например, ТВЧ) поверхности детали и ограниченность по времени фазовых процессов превращения в этих слоях. Получение структуры сорбита отпуска по всему сечению детали возможно только в том случае, если после закалки в стальных полуфабрикатах было мартенситное или троостомартенситное состояние.

Как показали экспериментальные исследования, при закалке в масло шаровых пальцев из стали 40Х-ПВ в структуре наряду с мартенситом присутствуют и структурные составляющие феррито-перлитного строения.

Основным и весьма эффективным направлением в обеспечении бездиффузионного превращения при закалке многих сталей является использование для этой цели закалочных сред с большей охлаждающей способностью, чем у масел. Такому показателю свойств отвечают среды на основе водорастворимых полимеров [2, 8]. При выборе синтетических закалочных сред необходимо выполнение ряда условий. А именно, – кроме сквозной закалки по сечению изделия она не должна вызывать его трещинообразование, должна быть пожаробезопасной, технологичной в эксплуатации и экологичной.

В таблице 1 представлены результаты по интенсивности охлаждения в различных температурных интервалах воды, масла МЗМ-16 и водных растворов с различным содержанием полимера – полиэтиленгликоля. Видно, что наиболее благоприятным свойством по охлаждающей способности, в сравнении с маслом, обладает закалочная среда, содержащая 32,5 % полимера в воде. Такая среда, как показали исследования, обеспечивает высокую закаливаемость стали 40Х (табл. 2) и исключается образование трещин (рис. 2) на дисковых образцах с канавкой их стали У10, как наиболее представительной стали для такой оценки свойств [9].

Таблица 1

Скорость и интенсивность охлаждения водных растворов полимеров  
в различных температурных интервалах

Закалочная среда, % полимера	Интенсивность охлаждения в интервале температур											
	800-300°С			800-650°С			650-300°С			300-100°С		
	V <sub>ср</sub>	H <sub>в</sub>	H <sub>м</sub>	V <sub>ср</sub>	H <sub>в</sub>	H <sub>м</sub>	V <sub>ср</sub>	H <sub>в</sub>	H <sub>м</sub>	V <sub>ср</sub>	H <sub>в</sub>	H <sub>м</sub>
0 (вода)	342	1,0	4,9	268	1,0	6,8	417	1,0	4,2	530	1,0	9,4
5,0	268	0,78	3,8	260	0,9	6,6	276	0,66	2,7	238	0,45	4,2
15,0	226	0,66	3,2	225	0,84	5,7	228	0,53	2,3	207	0,39	3,7
32,5	185	0,54	2,7	196	0,73	5,0	175	0,42	1,7	140	0,26	2,5
50,0	54	0,16	0,78	48	0,18	1,2	61	0,14	0,6	60	0,11	1,07
масло МЗМ-16	69	0,22	1,0	39	0,15	1,0	100	0,24	1,0	56	0,105	1,0

Примечание:  $V_{cp}$  – средняя скорость охлаждения, °C/c;  $H_v$  ( $H_M$ ) – интенсивность охлаждения по отношению к воде (маслу), количество раз.

Таблица 2

Твердость стали 40Х-ПВ при закалке образцов Ø30x120мм в различных средах

Место контроля твердости	Содержание полимера в воде, %					Закалка в масле
	0(вода)	5	15	25	32,5	
Поверхность, HRC	56/56	56/56	56/54	56/54	56/53	52/52
Сердцевина, HRC	52/56	56/56	54/50	54/50	53/48	47/46

Примечание: в числителе температура среды 20 °C, в знаменателе 50 °C.

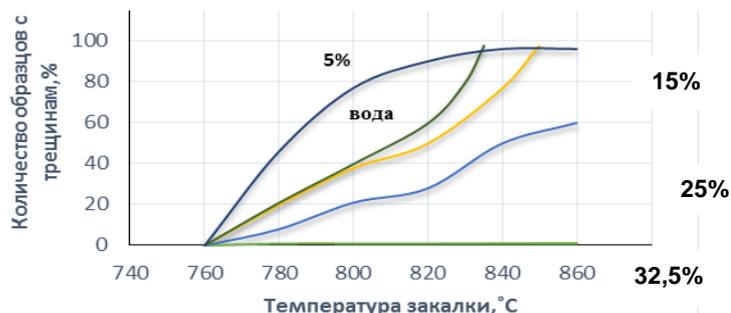


Рисунок 2 – Влияние температуры закалки и концентрации полимера в растворе на образование трещин в дисковых образцах с канавкой из стали У10

После термической обработки, включающей печной нагрев и выдержку при 860 °C, закалку в водном растворе полимера и отпуск при 550 °C в течение трех часов с последующим охлаждением в воде, по всему сечению полуфабрикатов шарового пальца достигнута структура сорбита отпуска с твердостью в пределах 285-320НВ, трещины на изделиях отсутствуют.

Ключевые показатели свойств деталям придаются в результате их поверхностного упрочнения после нагрева ТВЧ [12-15]. Учитывая скоростной нагрев и неизбежность нагрева поверхности деталей до более высокой температуры, чем при печном нагреве, в работе выполнены исследования и установлена температурная зависимость роста зерна в стали 40Х-ПВ (рис. 3). Видно, что в случае печного нагрева интенсивный рост зерна в стали наблюдается при температуре 920 °C, а в случае нагрева токами высокой частоты – при 1000 °C. Эти сведения указывают на сохранение мелкозернистого строения стали в сердцевине изделия, которое было сформировано при термической обработке полуфабрикатов, и получение мелкозернистого зерна в поверхностном упрочненном слое после закалки с нагрева ТВЧ.

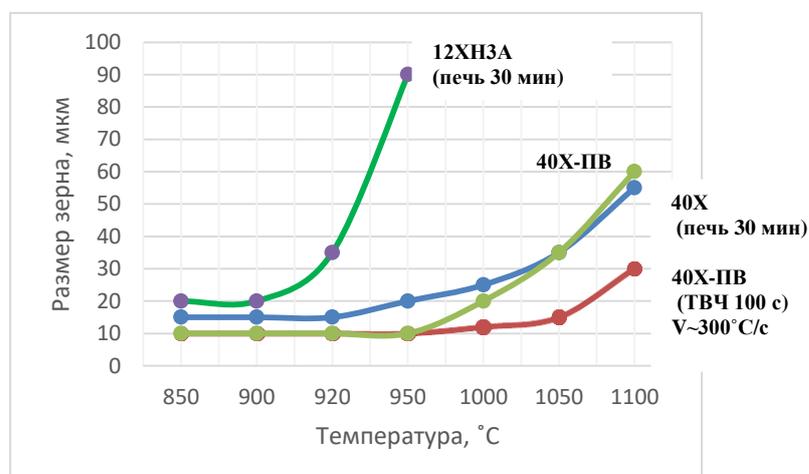


Рисунок 3 – Температурная зависимость роста зерна в сталях 12ХН3А, 40Х и 40Х-ПВ при различных условиях нагрева. В скобках – время выдержки; V – скорость нагрева

В результате спрейерной закалки шаровых пальцев на поверхности детали формируется упрочненный слой с твердостью 56-62HRC и микроструктурой мелкоигольчатого мартенсита. Учитывая конфигурацию детали и наличие на ней концентраторов напряжений в виде галтели, резьбы и зоны контакта с сопрягаемой сошкой рулевого управления, а также условия нагруженности детали в эксплуатации, упрочнение выполняется по сферической части, галтели и конусному участку (рис. 4).

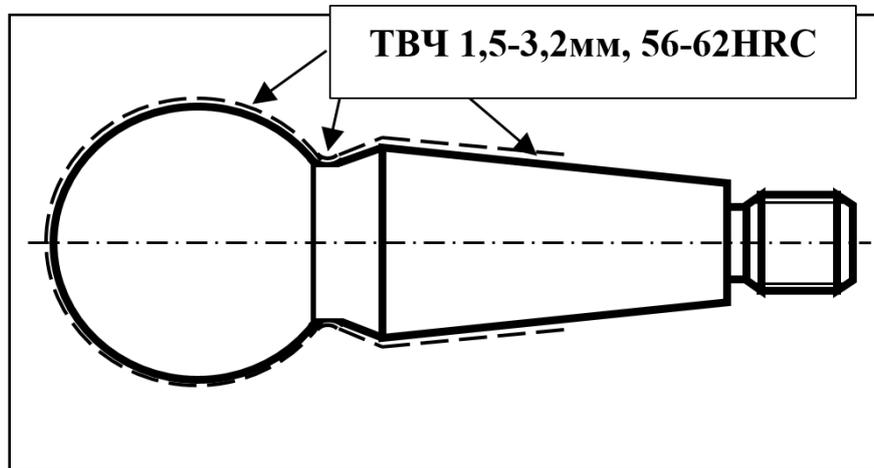


Рисунок 4 – Эскиз шарового пальца с поверхностным упрочнением с нагрева ТВЧ

Глубина упрочненного слоя по конфигурации детали колеблется от 1,5 до 3,2 мм, что обеспечивает циклическую долговечность детали более 1 млн циклов при размахе нагрузки 90кН (табл. 3). При этом твердость металла основы детали сохраняется на уровне 285-320НВ, полученной в процессе термического улучшения полуфабрикатов шаровых пальцев. Следует также заметить, что после поверхностной закалки детали подвергаются самоотпуску.

Таблица 3

Циклическая стойкость шаровых пальцев по результатам испытаний

Параметр	Значение				
	100	95	93	92	90
Размах нагрузки, кН	100	95	93	92	90
Наработка до разрушения, циклы	138 000	500 000	490 000	$1,06 \cdot 10^6$	$2,23 \cdot 10^6$
Место разрушения	По конической части	По галтели	По конической части	По конической части	Без разрушения

Стендовые усталостные испытания на изгиб показали, что детали имеют циклическую долговечность, более чем в 2 раза превышающую работоспособность в эксплуатации деталей из стали 12ХН3А. При этом материальные затраты при изготовлении деталей из стали 40Х-ПВ снижаются в ~2,5 раза.

### Заключение и выводы

1. Для изготовления шаровых пальцев рулевого управления грузового автомобиля предложена, обоснована и внедрена сталь 40Х прямого восстановления (40Х-ПВ) взамен цементуемой стали 12ХН3А.

2. Для полуфабрикатов шарового пальца из экономнолегированной стали разработана технология термического улучшения с применением при закалке водного раствора полимера, которая обеспечивает получение твердости в пределах 285-320НВ и микроструктуры сорбита отпуска по всему сечению изделия.

3. Для придания высоких эксплуатационных свойств изделиям детали на завершающем этапе производства подвергают поверхностной закалке с нагрева ТВЧ. После упрочнения

поверхностный слой толщиной 1,5-3,2 мм приобретает твердость 56-62HRC и структуру мартенсита при сохранении структуры и твердости сердцевины изделия, сформированных в полуфабрикатах.

4. Внедрение стали 40Х-ПВ для шаровых пальцев взамен стали 12ХН3А позволило сэкономить материальные затраты и энергетические ресурсы, а также снизить трудоемкость изготовления деталей.

### Литература

1. Астащенко, В. И. Контроль качества и наследственность строения стали при технологическом металлопеределе: монография / В. И. Астащенко, А. И. Швеев, Т. В. Швеева. – М. : Academia, 2011. – 239с. – Текст: непосредственный.
2. Астащенко, В. И. Эффективность закалки термоулучшаемых сталей в водных растворах полимеров / В. И. Астащенко, А. И. Швеев, Т. В. Швеева. – Текст : непосредственный // Черные металлы. – 2020. – №4. – С. 47–53.
3. Глинер, Р. Е. Введение в технологию поверхностного упрочнения металла: учебное пособие / Р. Е. Глинер, В. И. Астащенко. – Москва: Вологда: Инфа-Инженерия, 2022 – 326 с. – ISBN 978-5-9729-1038-0 – Текст : непосредственный.
4. Зинченко, В. М. Инженерия поверхности зубчатых колес методами химико-термической обработки / В. М. Зинченко. – М. : Издательство МВТУ, 2001. – 303 с. – Текст : непосредственный.
5. Кальнер, В. Д. Чистота шихты и свойства конструкционной углеродистой стали / В. Д. Кальнер, С. А. Юрасов, В. В. Медведев, А. В. Сайкин. – Текст : непосредственный // Автомобильная промышленность. – 1987. – № 4. – С. 33–35.
6. Качанов, Н. Н. Прокаливаемость стали / Н. Н. Качанов. – М. : Металлургия, 1978. – 192 с. – Текст : непосредственный.
7. Контроль качества термической обработки стальных полуфабрикатов и деталей: Справочник / Под общей ред. В. Д. Кальнера. – М. : Машиностроение, 1984. – 463с. – Текст : непосредственный.
8. Люты, В. Закалочные среды / В. Люты ; под ред. С. В. Масленкова ; пер. с польского. – Челябинск : Металлургия, 1990. – 192 с. – Текст : непосредственный.
9. Малинкина, Е. И. Образование трещин при термической обработке стальных изделий / Е. И. Малинкина. – М. : Машиностроение, 1965.- 173с. – Текст : непосредственный.
10. Международный стандарт ISO9950-1995 Промышленные закалочные масла. Определение характеристик охлаждения. Метод испытания зондом из никелевого сплава. Перевод с немецкого, 1995. – 9 с. – Текст : непосредственный.
11. Меськин, В. С. Основы легирования стали / В. С. Меськин. – М. : Металлургия, 1964. – 684 с. – Текст : непосредственный.
12. Михлюк, А. И. Новый подход объемно-поверхностной закалке тяжело нагруженных зубчатых деталей мобильных машин / А. И. Михлюк. – Текст : непосредственный // Литье и металлургия. – 2010. – № 1(54). – С. 131–139.
13. Термическая обработка в машиностроении: Справочник / Под ред. Ю. М. Лахтина. – М. : Машиностроение, 1980. – 783 с. – Текст: непосредственный.
14. Фиргер, И. В. Термическая обработка сплавов: Справочник / И. В. Фиргер. – Л. : Машиностроение, Ленинградское отделение, 1982. – 304с. – Текст : непосредственный.
15. Шепеляковский, К. З. Упрочнение деталей машин поверхностной закалкой при индукционном нагреве / К. З. Шепеляковский. – М. : Машиностроение, 1972. – 288 с. – Текст : непосредственный.