

УДК 669.041; 621.785

П. С. Гурченко¹, Г. А. Ткаченко¹, А. А. Солонович²¹ Учреждение образования «Белорусский национальный технический университет», Минск² ПРУП «Минский завод шестерён», Минск

ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ У8А И ОБЪЁМНО-ПОВЕРХНОСТНОЙ ЗАКАЛКИ ПРИ ИНДУКЦИОННОМ НАГРЕВЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОЛЕЦ ПОДШИПНИКОВ

Повышение эксплуатационных свойств деталей машин в условиях возрастающих нагрузок вследствие увеличения мощности, скорости и грузоподъёмности, а также других параметров их эксплуатации может быть достигнуто применением объёмно-поверхностной закалки изделий из недорогих углеродистых сталей с использованием индукционного нагрева изделий, что позволяет значительно повысить прочность и долговечность деталей машин при одновременном снижении их себестоимости.

Введение. Инструментальные углеродистые стали марок У7; У8; У9; У10; У11; У12; У13; У7А; У8А; У8ГА; У9А; У10А; У11А; У12А; У13А выпускаются согласно отраслевому стандарту [1], который распространяется на углеродистую инструментальную горячекатаную, кованую, калиброванную сталь, серебрянку. К группе качественных сталей относятся марки стали без буквы А (в конце маркировки), к группе высококачественных сталей, более чистых по содержанию серы и фосфора, а также примесей других элементов, — марки стали с буквой А. Достоинство углеродистых инструментальных сталей заключается, в основном, в их невысокой стоимости и значительной твёрдости по сравнению с другими инструментальными материалами.

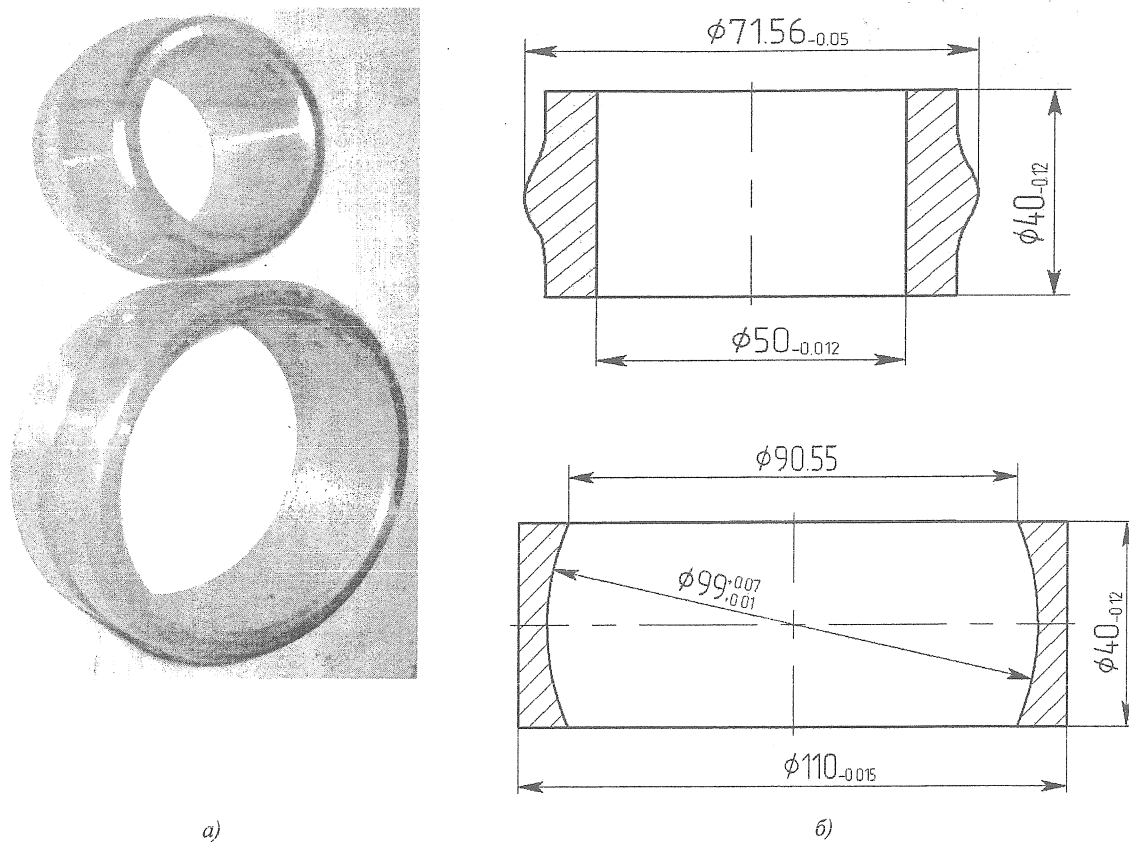
Организация исследования. Проведено исследование технологии и оборудования объёмно-поверхностной закалки опытной партии колец подшипников из стали У8А.

На ОАО «МПЗ» совместно с БНТУ в 2011—2012 годах выполнялись исследовательские работы по изготовлению и испытанию опытной партии колец подшипников из стали У8А. В качестве упрочняющей термической обработки выбрана закалка с применением индукционного нагрева с последующим отпускком. Для работы выбраны

кольца цилиндрического двухрядного подшипника 53610.01 и 53610.02 с наиболее простой формой и сечением, составляющим 9 мм (рисунок 1).

Для опытной работы использовалась сталь марки У8А (ГОСТ 1435-99), имеющая определённый химический состав (таблица 1).

Изготовление поковок опытной партии колец производили на автоматизированной кузнечной линии Л-309 с использованием индукционного нагрева до температур 1 150...1 180°C под горячую обработку металла давлением (далее — ОМД). Конецковки проходил при температурах 900...950°C. Применение индукционного нагрева исключило угар металла и образование обезуглероженного слоя в процессе нагрева под ковку. Часть поковок для предотвращения образования окалина и роста зерна аустенита ускоренно охлаждали водовоздушной смесью, подаваемой через форсунки, до температур 750...730°C, а далее — на воздухе. В результате получена микроструктура перлита пластинчатого с включениями цемента (рисунок 2, а). Последующий отжиг этой партии поковок производили по режиму: 1) нагрев до температуры 780°C; 2) выдержка в течение 30 мин; 3) охлаждение в печи до температуры 680°C; 4) выдержка в течение 1 часа и охлаждение на воздухе. В результате такого отжига получена структура точечного и мел-



а — внешний вид; б — эскиз

Рисунок 1 — Цилиндрический двухрядный подшипник: внутреннее кольцо 53610.01 (вверху), наружное кольцо 53610.02 (внизу)

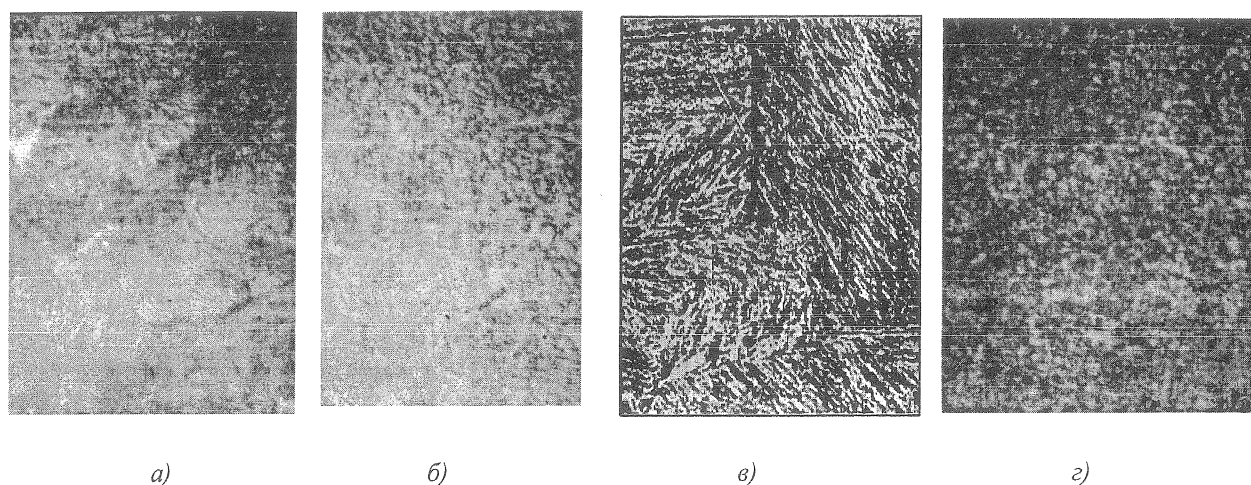
Т а б л и ц а 1 — Химический состав стали У8А, применяемой для колец подшипников

В процентах

Химический элемент	Содержание	Содержание по ГОСТ1435-99
C	0,820	0,750...0,840
S	0,017	Не более 0,150
P	0,016	Не более 0,025
Ni	0,110	Не более 0,250
Cu	0,150	Не более 0,250
Mn	0,230	0,170...0,280
Si	0,240	0,170...0,330

козернистого перлита с участками пластинчатого перлита с твёрдостью 192...230 НВ (см. рисунок 2, б). При изготовлении второй партии поковок после ОМД проводили закалку с температур конца ковки 900...850°С

с последующей операцией высокого отпуска при температуре 650...670°С. После закалки получили структуру мартенсита крупноигольчатого с твёрдостью 56...57 HRC (см. рисунок 2, в). После высокого отпуска при температуре



a — после ОМД с последующим водовоздушным охлаждением. $\times 500$; *б* — после отжига 780°C . $\times 500$; *в* — после закалки с температуройковки. $\times 1\,000$; *з* — после операции высокого отпуска. $\times 500$

Рисунок 2 — Микроструктура наружного кольца подшипника из стали У8А после объёмно-поверхностной закалки с индукционного нагрева

$650\text{...}670^{\circ}\text{C}$ структура представляет собой сорбит (см. рисунок 2, *з*) с твёрдостью 241...255 НВ.

При последующей механической обработке всех опытных партий колец подшипника 53610.01 и 53610.02, прошедших термическую обработку по указанным режимам, установлено отсутствие проблем по обрабатываемости резанием на всех операциях токарной обработки.

Традиционная предварительная термическая обработка данных деталей, изготовленных из стали ШХ15, — сфероидизирующий отжиг на мелкозернистый перлит с твёрдостью 179...207 НВ, весь процесс которого занимает 14,5 ч. Получаемая структура и твёрдость обеспечивают наилучшую обрабатываемость резанием при последующих операциях токарной обработки, однако являются высокоэнергетическими.

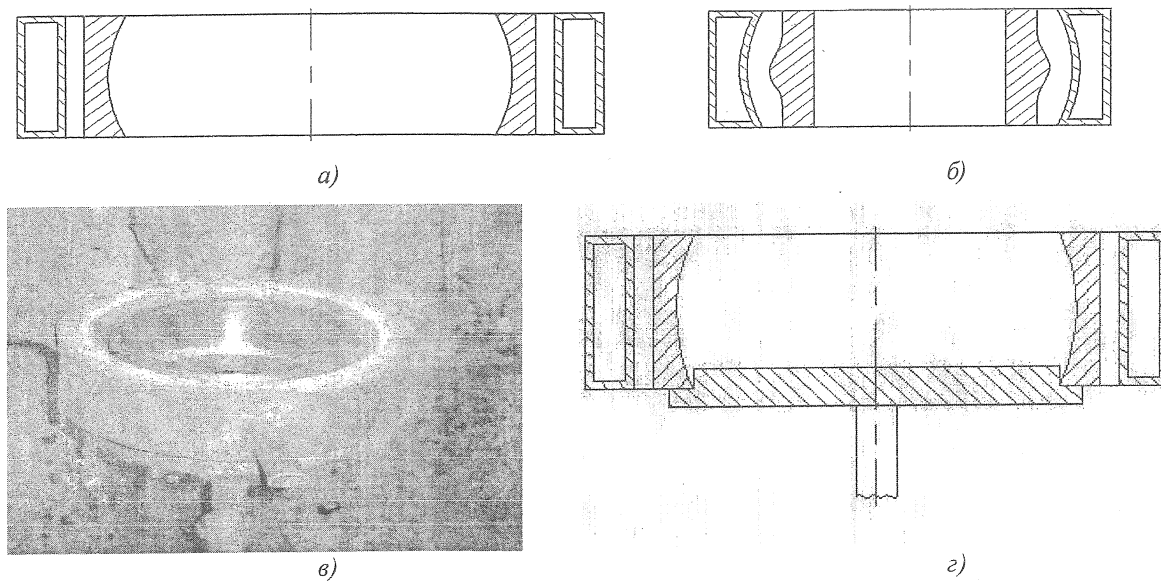
Нагрев колец под закалку производили на универсальном закалочном станке от преобразователя частоты ВПЧ 100/8,0 частотой 8 000 Гц и мощностью 100 кВт. В целях обеспечения сквозного равномерного нагрева колец по сечению нагрев проводили при заниженной, отнимаемой от преобразователя, мощности, но длительно, чтобы температу-

ра выравнилась по всему сечению. Электрические параметры индукционного нагрева подбирали (согласно ранее выполненным исследованиям [2], [3], [4]) таким образом, чтобы время нагрева под закалку до температуры $795\text{...}815^{\circ}\text{C}$ составляло 0,5...1,5 мин. При этом мощность, отнимаемая от преобразователя при нагреве, составляла 15...20 кВт. В процессе индукционного нагрева кольца вращали в индукторе (рисунок 3) с частотой 1 об / с для более равномерного распределения температуры при помощи центра закалочного станка, приводимого во вращение механическим приводом от электродвигателя.

Температуру поверхности в процессе индукционного нагрева измеряли оптическим пирометром «Раутек».

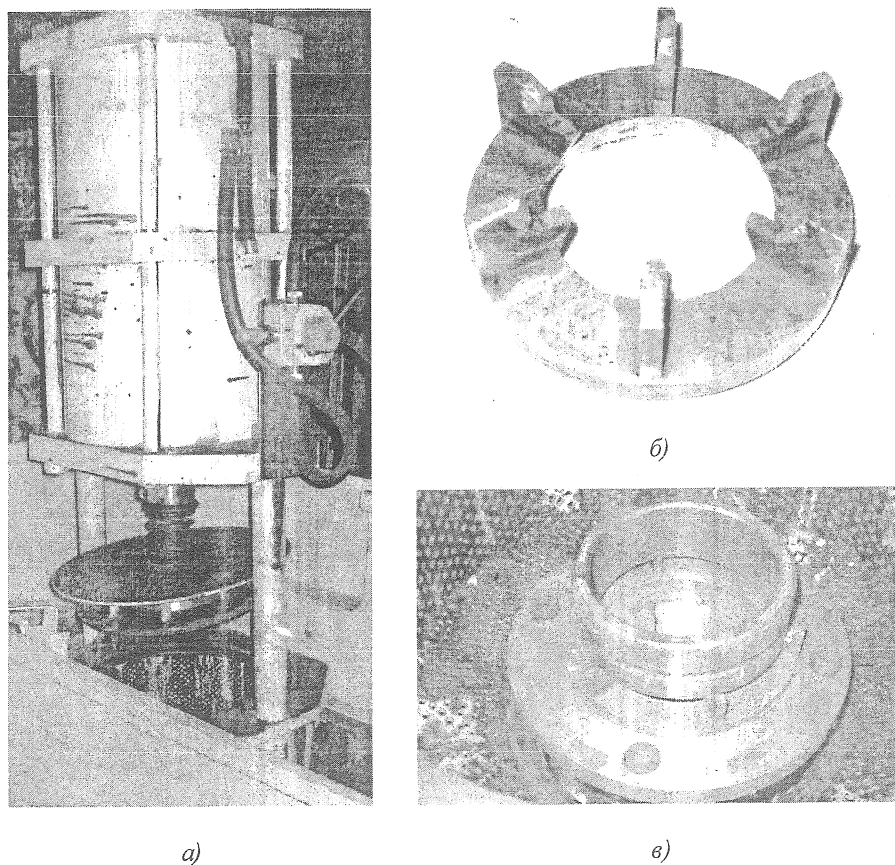
После достижения закалочной температуры ($800\text{...}820^{\circ}\text{C}$) нагрев отключали и кольца вручную переносили в механизированное закалочное устройство (рисунок 4, *а*) с центрирующей вставкой для базирования закаливаемого кольца в штампе (см. рисунок 4, *б*), внутри душирующего устройства (см. рисунок 4, *в*).

Время переноса кольца из индуктора в спрейер составляло 2,5...5 с. После установ-



a — наружное кольцо; *б* — внутреннее кольцо; *в* — внешний вид индуктора с расположенным в нём кольцом; *г* — схема базирования наружного кольца на вращающемся центре в индукторе

Рисунок 3 — Взаимное расположение обрабатываемых колец



a — базировочная вставка штампа; *б* — центрирующая вставка; *в* — размещение кольца внутри закалочного устройства

Рисунок 4 — Закалочное устройство

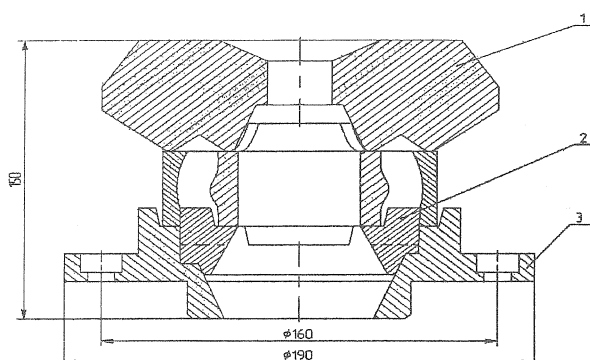
ки кольца на базирующую вставку закалочное устройство посредством расположенного сверху пневмоцилиндра в течение 1...2 с закрывали, при этом автоматически включалась подача закалочной воды, которая продолжалась в течение 1,3...1,5 с (время задавалось с помощью реле). Одновременно с закрыванием закалочного устройства кольца прижимались верхней частью штампа к базирующей вставке (рисунок 5, а) для предотвращения закалочных деформаций. Закалочное охлаждение производили в спрейере в течение 1,5 с интенсивной подачей воды на внутреннюю и наружную поверхности одновременно, для чего использовали насос производительностью 260 м³/ч с рабочим давлением 4 атм. При этом расход закалочной воды при закалке составлял ≈ 75 л/с, температура — 15°C.

После прекращения подачи закалочная вода из спрейера мгновенно уходила и происходил самоотпуск в целях предотвращения закалочных трещин. Температуру самоотпуска измеряли через 6 с после прекращения подачи воды, что обусловлено временем раскрытия закалочного устройства и обеспечением доступа для измерения температуры при помощи оптического пирометра. Время закалочного охлаждения (1,5±0,1 с) подобрано экспериментально с таким расчётом, чтобы обеспечить в дальнейшем самоотпуск

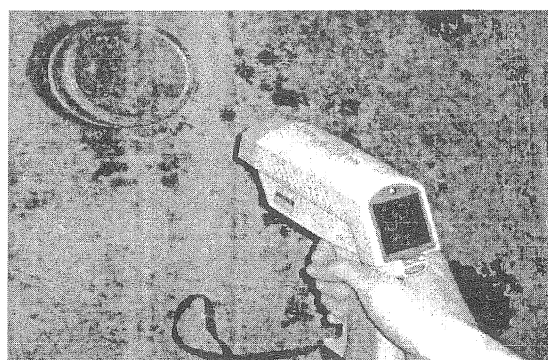
100...140°C. При меньшей длительности охлаждения твёрдость после закалки снижалась на 3...5 и более единиц HRC. При большей длительности закалочного охлаждения (2 с и более) кольца охлаждались до температуры закалочной воды, самоотпуск не происходил, твёрдость поверхности составляла 66...67 HRC, но при этом на кольцах образовывались закалочные трещины, располагающиеся вдоль, перпендикулярно и под произвольным углом относительно оси.

Самоотпуск 100...140°C обеспечивал предотвращение закалочных трещин с незначительным (на 1...2 HRC) снижением твёрдости до значения 65...66 HRC. Измерение температуры самоотпуска проводилось оптическим пирометром «Раутек» (см. рисунок 5, б). Для предотвращения возникновения закалочных трещин все кольца дополнительно отпущены в печи ПН32 на 100°C в течение 1 часа.

Измерениями температуры в процессе нагрева под закалку установлено, что он происходит несколько неравномерно (характерная особенность индукционного нагрева). На первой стадии нагрева колец температура наружной поверхности, расположенной вблизи индуктора в зоне наивысшей концентрации электромагнитного поля, повышается наиболее быстро и на 100...150°C превышает температуру внутренней поверхности,



а)



б)

а — схема фиксации колец в штампе: верхняя подвижная часть (1); базирующая вставка (2); нижняя неподвижная часть (3); б — измерение температуры самоотпуска колец при помощи пирометра «Раутек»

Рисунок 5 — Процесс закалки колец подшипников

нагреваемой, в основном, за счёт теплопроводности через тело кольца. На завершающей стадии нагрева происходит выравнивание температуры по сечению, которое завершается в процессе переноса колец в закалочное устройство. Разница в значении температур нагрева, хотя и длится непродолжительное время, исчисляемое секундами, приводит к существенной разнице формируемых структур, что подтверждено дальнейшими исследованиями.

Результаты исследования и их обсуждение. В процессе работы была изучена структура и твёрдость наружных и внутренних колец подшипников из стали У8А после объёмно-поверхностной закалки.

Исследование структур и определение микротвёрдости проводили в зонах 1...7 разреза кольца (рисунок 6). Выбор данных участков обусловлен тем, что в двухрядном роликовом подшипнике рабочая нагрузка в процессе эксплуатации не распределяется по поверхности кольца равномерно, а сосредоточена на дорожках качения роликов, центр которых расположен на внутренней сферической поверхности кольца на расстоянии 10 мм от обоих торцов. При этом наружная поверхность кольца в зонах 1 и 5, а также внутренняя в зоне 4 контактных нагрузок не испытывают.

В соответствии с эксплуатационными нагрузками к участкам 1, 4 и 5 особых требований по микроструктуре можно не предъявлять. Необходимо, чтобы они имели достаточно

высокую твёрдость и прочность, препятствующую механическим деформациям. Наиболее высокие требования по структуре должны быть предъявлены к беговым дорожкам качения роликов на кольцах подшипника.

Выбранная схема объёмно-поверхностной закалки обеспечивает достижение дифференцированного распределения твёрдости и структуры по сечению колец подшипников. На наружной поверхности кольца, нагреваемой перед закалкой до более высоких температур, сформирована структура крупноигольчатого мартенсита (рисунок 7, а и б) с твёрдостью 60...63 HRC (650...750 HV). По мере удаления от внешнего диаметра кольца твёрдость увеличивается за счёт уменьшения размера иголок мартенсита и увеличения степени его тетрагональности. Наибольшая твёрдость — 66...68 HRC — достигнута на поверхности беговой дорожки за счёт сформированной структуры скрытоигольчатого мартенсита (см. рисунок 7, в и г). Толщина закалённого слоя с такой микроструктурой составила 2,5 мм.

На расстоянии 20 мм от обоих торцов кольца и в центре внутренней сферической поверхности зоны подшипника между беговыми дорожками микроструктура представляет собой смесь троостита закалки и мартенсита скрытоигольчатого (рисунок 8). На участке 4 (см. рисунок 6) твёрдость составляет 58...60 HRC, что ниже, чем на поверхности беговых дорожек. Это обусловлено большим количеством троостита закалки (более 60%). Снижение твёрдости на этом

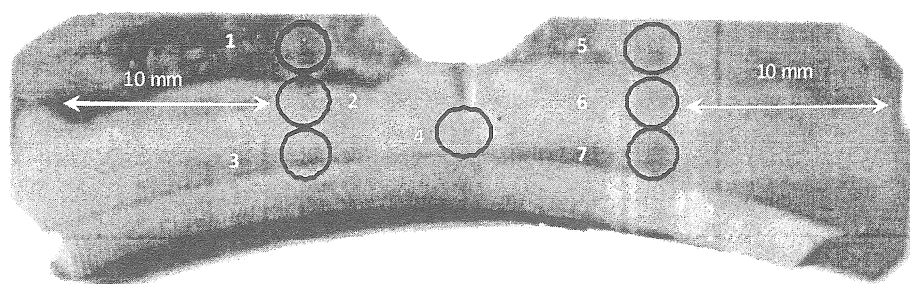
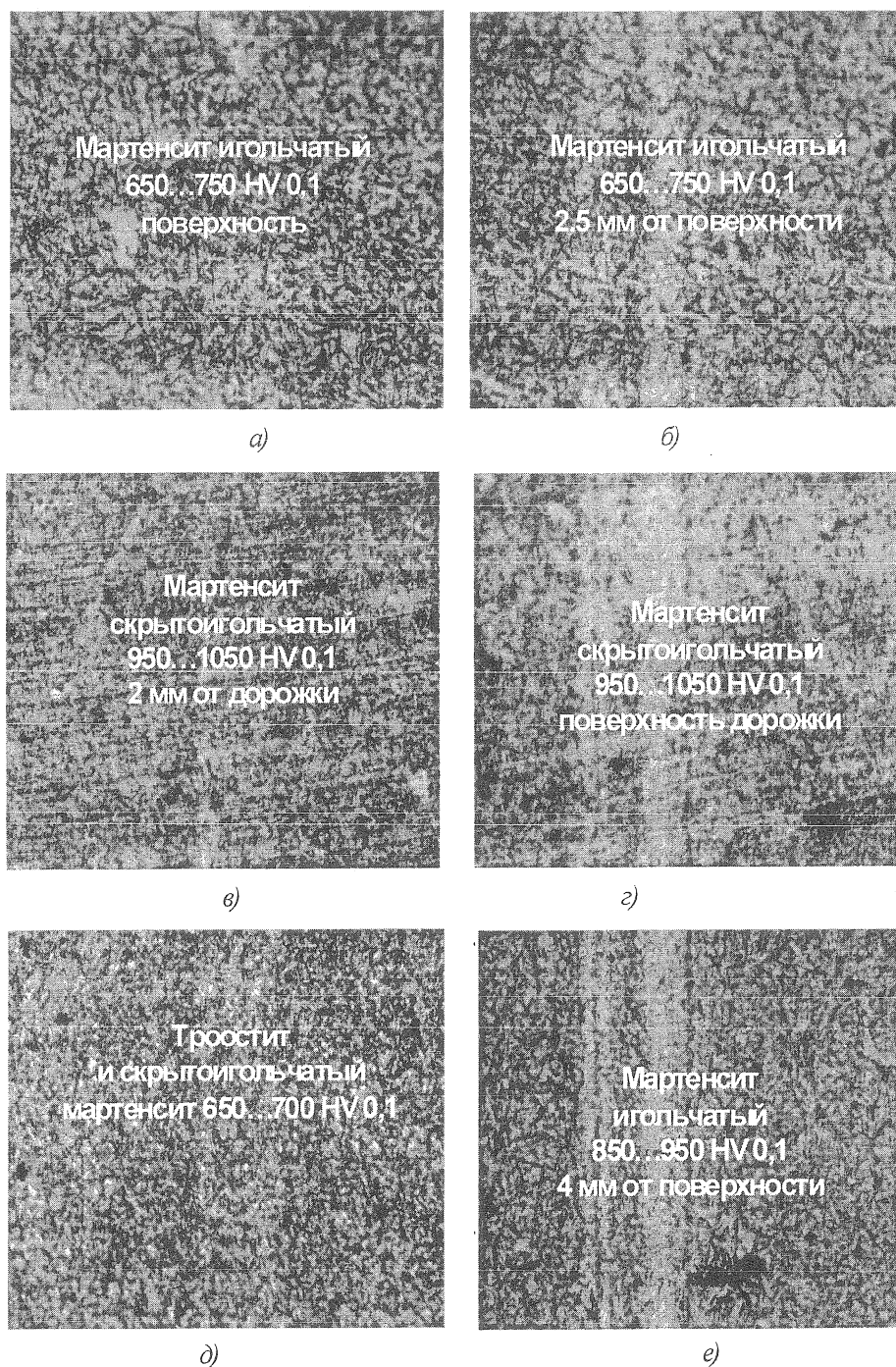


Рисунок 6 — Схема расположения исследуемых участков в сечении наружного кольца подшипника из стали У8А после объёмно-поверхностной закалки



a — мартенсит на поверхности в зонах 1 и 5. $\times 500$; *б* — на расстоянии 2,5 мм от поверхности. $\times 500$; *в* — в зонах 3 и 7 внешнего кольца на расстоянии 2 мм от беговой дорожки. $\times 500$; *г* — на поверхности беговой дорожки в зонах 3 и 7. $\times 500$; *д* — троостит и мартенсит в зоне 4. $\times 500$; *е* — мартенсит в зонах 2 и 6. $\times 500$

Рисунок 7 — Микроструктура наружного кольца подшипника из стали У8А после объёмно-поверхностной закалки с индукционного нагрева

участке может быть объяснено более низкой скоростью закалочного охлаждения.

Учитывая, что твёрдость — характеристика, определяющая не только износостойкость, но и конструктивную прочность элементов подшипника, в процессе исследований измеряли распределение твёрдости по сечению колец. Измерения проводили от поверхности беговой дорожки до внешней кромки кольца, в сечении дорожки 1, проходящей через зоны 1...3, и в сечении дорожки 2, проходящей через зоны 5...7.

На графике распределения твёрдости (рисунок 8) видно, что различия в твёрдости дорожек 1 и 2 практически нет. Это свидетельствует об идентичности условий нагрева и закалочного охлаждения для обеих до-

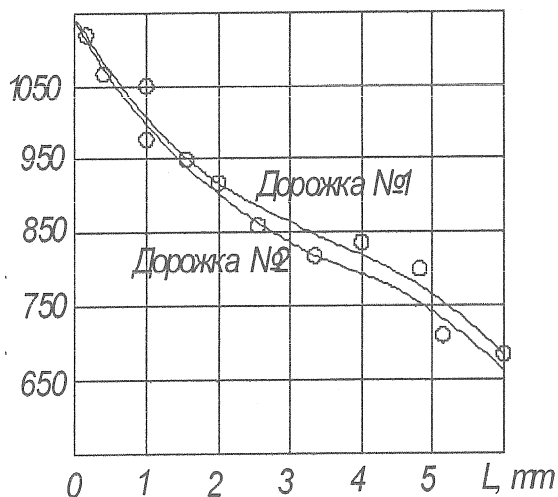


Рисунок 8 — Микротвёрдость по сечению двух дорожек внешнего кольца подшипника из стали У8А после объёмно-поверхностной закалки

рожек. Твёрдость от максимального значения 1 050...1 100 HV 0,1 плавно снижается до 650...700 HV 0,1. Снижение твёрдости по сечению кольца обусловлено уменьшением скорости охлаждения и прокаливаемостью углеродистой стали. Максимальный теплоотвод наблюдается только с поверхности, где скорость охлаждения максимальна (более 650°С / с). Дальше по сечению скорость закалочного охлаждения снижается, но остаётся выше критической скорости закалки. Критическая скорость для стали У8А определена по степени устойчивости переохлаждённого аустенита (1,5 с) и составляет 470°С / с. Наивысшая твёрдость фиксируется в приповерхностном слое беговых дорожек, где сформирована структура мартенсита скрытоигольчатого, что свидетельствует об оптимальной температуре нагрева под закалку и достаточно интенсивном закалочном охлаждении. Минимальная твёрдость 650...700 HV 0,1 на наружной поверхности кольца и структура игольчатого мартенсита свидетельствуют о завышенной температуре нагрева под закалку этих участков.

Распределение твёрдости по контуру внутренней поверхности наружного кольца вдоль оси от одного торца к другому определяли на удалении 1 мм от поверхности по схеме (рисунок 9).

Полученные результаты (рисунок 10) свидетельствуют о дифференцированном распределении микроструктур и твёрдости по контуру беговой дорожки внешнего кольца подшипника. Максимальная твёрдость



Рисунок 9 — Схема измерения твёрдости по контуру внутренней поверхности наружного кольца подшипника из стали У8А после объёмно-поверхностной закалки

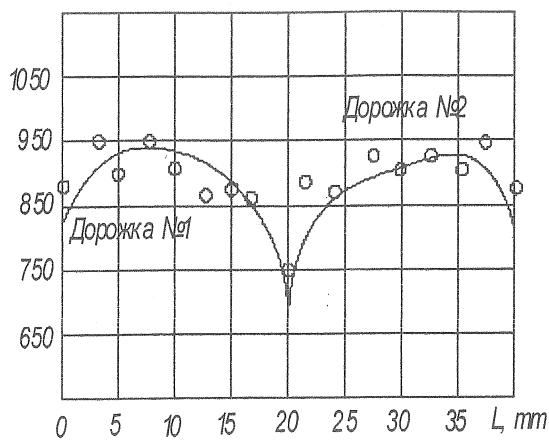


Рисунок 10 — Распределение микротвёрдости на расстоянии 1 мм от поверхности по контуру внутренней поверхности наружного кольца подшипника из стали У8А после объёмно-поверхностной закалки

дорожки соответствует точке контакта роликов с кольцом. Низкая твёрдость по торцам вызвана меньшей скоростью охлаждения. Невысокая твёрдость в центре кольца между беговыми дорожками связана с заниженной температурой нагрева под закалку в этой зоне и неомогенностью по углероду перед закалкой. Неравномерный химический состав фиксируется мартенситной структурой, что хорошо проявляется при травлении поверхности поперечного шлифа. Именно в центральной части беговой дорожки формируется наибольшая неоднородность. Этой особенностью и объясняется снижение твёрдости до 680 HV 0,1 в центре.

Исследования твёрдости и структуры в сечении внутренних колец подшипника (рисунок 11) проводили также в определённых зонах, соответствующих характеру эксплуатационных нагрузок.

В соответствии с эксплуатационными нагрузками, наивысшим требованиям по микроструктуре кольца должна отвечать поверхность дорожек качения, где предпочтительнее обеспечить структуру скрытоигольчатого мартенсита. Структура троостомартенсита в сердцевине может способствовать снижению вероятности хрупкого разрушения колец, а к внешней кромке, не испытывающей больших циклических контактных нагрузок, особых требований не предъявляется.

Исследованиями установлено, что в результате объёмно-поверхностной закалки в сечении внутреннего кольца, изготовленного из стали У8А, сформирована дифференцированная микроструктура. По мере продвижения от наружного диаметра к поверхности беговых дорожек изменяется микроструктура и увеличивается твёрдость материала. В приповерхностном слое зоны 1 внутренней поверхности кольца сформирована троостосорбитовая структура с твёрдостью HV 500 (рисунок 12, а). В центре сечения, на глубине 4,5 мм от поверхности, в зоне 2 преобладает троостомартенсит скрытоигольчатый с твёрдостью 63 HRC (см. рисунок 12, б). На расстоянии 6 мм от на-

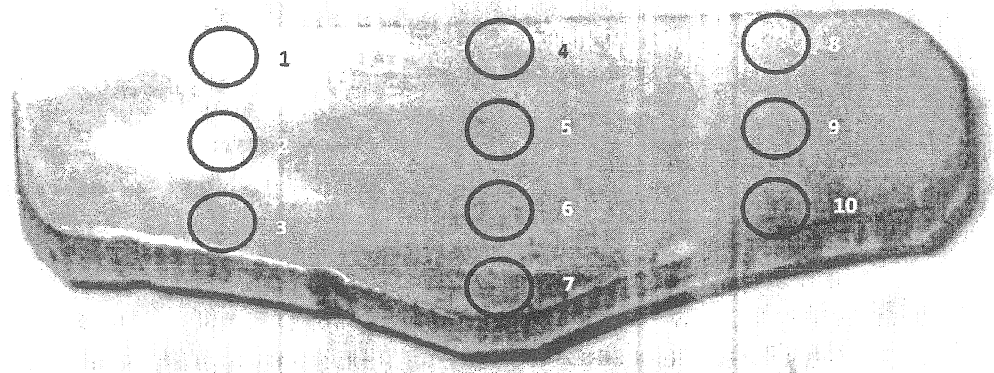
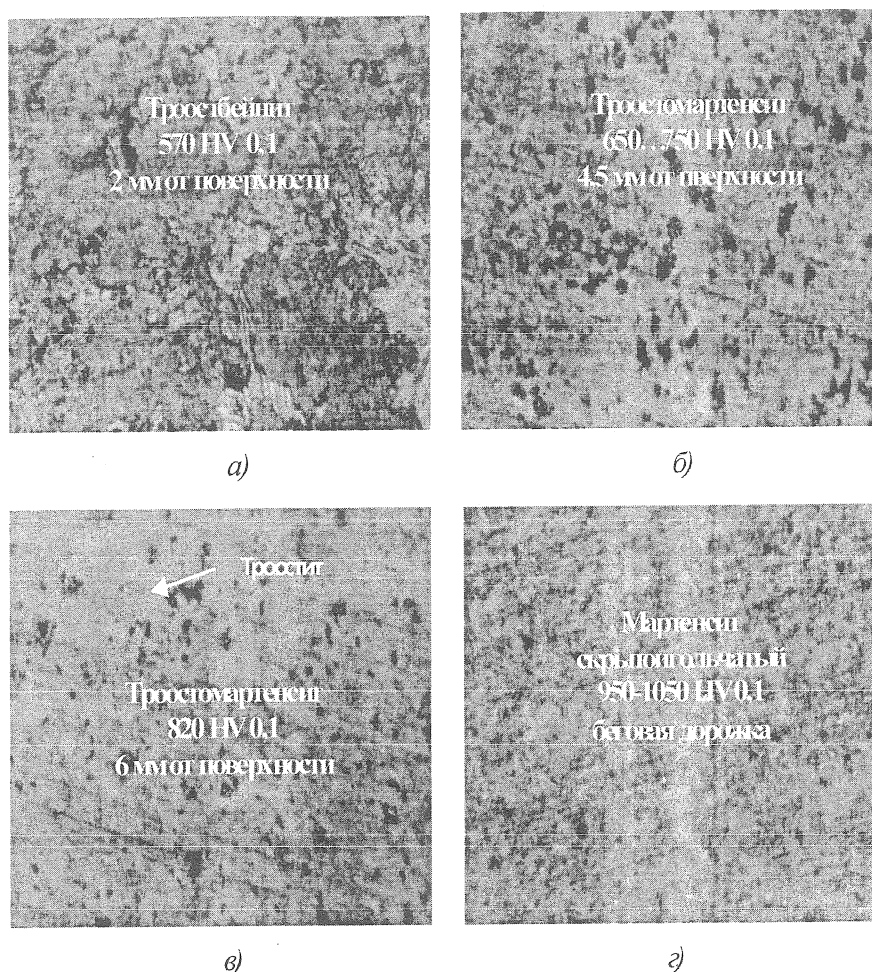


Рисунок 11 — Схема расположения характерных зон для исследования твёрдости и структуры материала в сечении внутреннего кольца подшипника из стали У8А



a — в зоне 1. × 500; *б* — в зоне 2. × 500; *в* — в зоне 9. × 500; *г* — в зоне 10. × 500

Рисунок 12 — Микроструктура наружного кольца подшипника из стали У8А после объёмно-поверхностной закалки с индукционного нагрева

ружной поверхности в зоне 9 структура представляет собой троостомартенсит с твёрдостью 820 HV. На беговой дорожке (см. рисунок 11, зона 3 и 10), где температура нагрева под закалку была оптимальной, а скорость закалочного охлаждения — максимальной, сформирована структура скрытоигольчатого мартенсита с твёрдостью 66...68 HRC (см. рисунок 12).

Более мягкие и вязкие структуры в центре кольца подшипника, предполагается, должны препятствовать в процессе эксплуатации хрупким разрушениям. Такого распределения микроструктур удалось достигнуть благодаря специальной конструкции закалочного устройства и низкой прокаливаемости стали. На макрошлифе (см. рисунок 11)

зона мягких структур отчётливо видна и по более тёмному цвету травления.

Поверхность центральной части наружной поверхности кольца между беговыми дорожками (см. рисунок 11, зона 7), наиболее приближенная к стенке индуктора в процессе нагрева и, вследствие этого, нагретая перед закалкой до более высокой температуры, в структуре содержит игольчатый мартенсит и троостит. Наличие троостита свидетельствует о более низкой скорости охлаждения центральной части кольца. Микроструктура второй дорожки полностью повторяет микроструктуру первой.

На поверхности внутреннего диаметра внутреннего кольца, нагретого перед закалкой

до минимальной температуры и охлаждаемого при закалке с минимальной интенсивностью, установлена троостобейнитная структура (см. рисунок 12, а). На расстоянии 4,5 мм от внутренней поверхности наряду с трооститом появляется мартенсит (см. рисунок 12, б), и по мере продвижения к поверхности беговой дорожки количество троостита уменьшается (см. рисунок 12, в). Уменьшение количества троостита сопровождается повышением твёрдости закалённого слоя. На поверхности беговой дорожки после закалки установлена структура мартенсита скрытоигольчатого (см. рисунок 12, г).

Измерения твёрдости по сечению внутреннего кольца выполняли в местах центра беговых дорожек, в сечениях, проходящих через зоны 1...3 и 8...10 (см. рисунок 11) через каждые 0,5 мм от наружной поверхности до внутренней. Распределение твёрдости показано на рисунке 13.

Видно, что распределение твёрдости в сечениях дорожек 1 и 2 практически не отличается (см. рисунок 13).

Твёрдость поверхности на беговой дорожке внутреннего кольца составляет 1 050 HV 0,1, что сопоставимо с твёрдостью, достигнутой при закалке внешнего кольца. Однако твёр-

дость внешней кромки кольца отличается на 200 HV 0,1. Внешнее кольцо (толщиной 6 мм) имеет большую твёрдость, так как оно менее массивно, чем внутреннее (толщиной 9 мм). Более массивное тело охлаждается медленнее, поэтому и структурные превращения по сечению отличаются: внешнее кольцо прокалилось на всю толщину, а внутреннее — только на глубину около 5 мм (полумартенситная зона). Распределение твёрдости по контуру рабочей поверхности внутреннего кольца подшипника на расстоянии 1 мм от поверхности беговой дорожки определяли по схеме (рисунок 14).

Характер дифференцированного распределения твёрдости по контуру дорожек представляет собой плавные переходы от торцов к сердцевине и снижение в центре кольца (рисунок 15). С торцов твёрдость ниже, что может быть объяснено меньшей интенсивностью закалочного охлаждения торцевой поверхности. На возвышенности внутреннего кольца (рисунок 11, зона 7) твёрдость также падает, что может быть объяснено меньшей интенсивностью закалочного охлаждения при завышенной температуре нагрева под закалку, о чём свидетельствует появление в микроструктуре троостита закалки в сочетании с игольчатым мартенситом.

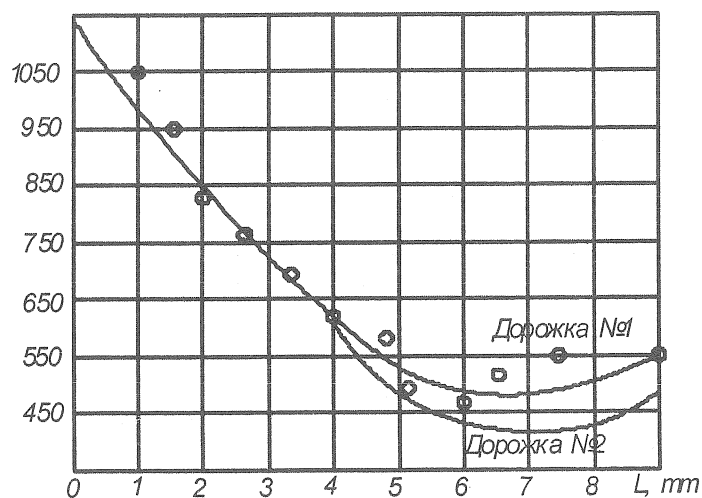


Рисунок 13 — Распределение микротвёрдости по сечению внутреннего кольца подшипника из стали У8А после объёмно-поверхностной закалки

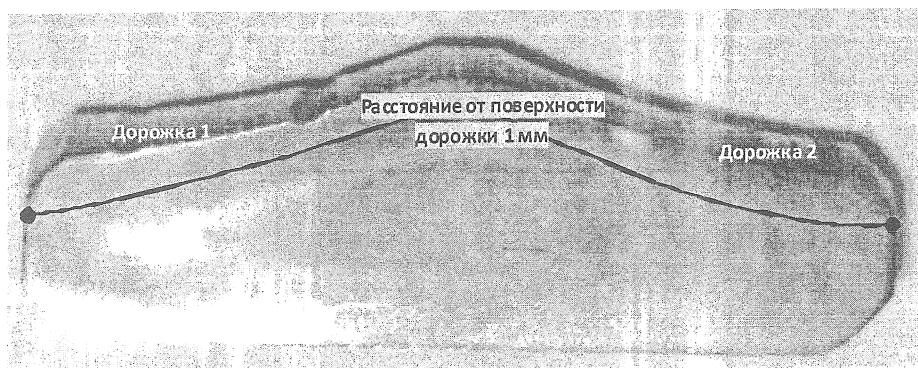


Рисунок 14 — Схема измерения твёрдости по контуру рабочей поверхности внутреннего кольца подшипника из стали У8А после объёмно-поверхностной закалки

Заключение. Применение индукционного нагрева под операции ковки и штамповки исключает угар металла и образование обезуглероженного слоя в процессе нагрева под ковку, позволяет легко автоматизировать как поштучную загрузку заготовок, так и их поштучную подачу в рабочую зону формообразующего инструмента, устраняет инерционность операции нагрева.

Применение углеродистых низкопрокаливаемых сталей типа У8А позволяет снизить себестоимость продукции не только за счёт стоимости стали, но и за счёт снижения затрат на термообработку.

Применение предварительной термической обработки с использованием темпера-

туры концаковки заготовок позволяет значительно сократить расходы топливно-энергетических ресурсов, времени и трудоёмкости при изготовлении деталей машин.

Изготовлена пробная партия колец подшипников из стали У8А в количестве 380 штук.

Выбраны и апробированы режимы объёмно-поверхностной закалки колец подшипников.

После объёмно-поверхностной закалки с самоотпуском на поверхности колец подшипника сформирована структура скрытоигольчатого мартенсита (твёрдостью 68 HRC), в сердцевине стали — троостосорбитная структура (твёрдостью 55...60 HRC). Дифференцированное распределение структур и твёрдости обеспечивает высокую износостойкость поверхности и исключает продавливание закалённого слоя дорожки.

Проведение сравнительных стендовых испытаний запланировано на 2013 год, после чего будет принято окончательное решение о целесообразности внедрения технологии на МПЗ.

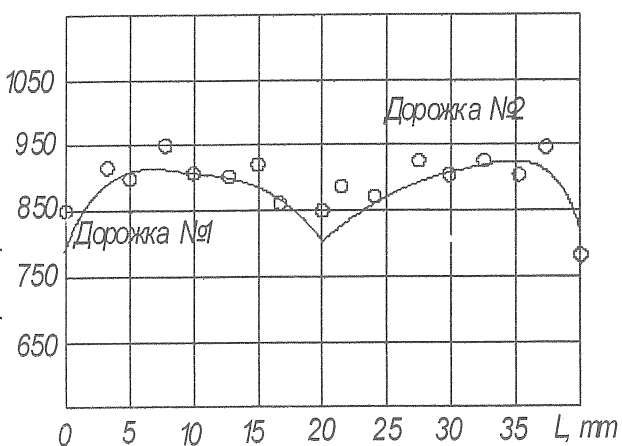


Рисунок 15 — Распределение твёрдости по контуру рабочей поверхности внутреннего кольца из стали У8А после объёмно-поверхностной закалки

Список цитируемых источников

1. Прутки, полосы и мотки из инструментальной нелегированной стали. Общие технические условия : ГОСТ 1435-99. — Взамен ГОСТ 1435-90 ; введ. 28.05.1999. — Минск : Межгос. совет по

стандартизации, метрологии и сертификации : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1999.

2. *Гуринович, В. А.* Регулируемое охлаждение заготовок в процессе горячего формообразования деталей автомобиля / В. А. Гуринович, П. С. Гурченко, А. И. Михлюк // Автомобильная пром-сть. — 2007. — № 4. — С. 27—29.

3. *Гурченко, П. С.* Резервы энергосбережения при термической обработке поковок деталей автотехники МАЗ с индукционного нагрева / П. С. Гурченко, А. А. Солонович // Наука — образованию, производству, экономике : материалы 7-й Междунар. науч.-

техн. конф. : в 3 т. — Минск : БНТУ, 2009. — Т. 1. — С. 259—260.

4. *Гурченко, П. С.* Разработка энергосберегающих технологий и оборудования обработки деталей подшипников с применением индукционного нагрева / П. С. Гурченко, А. А. Солонович // Наука — образованию, производству, экономике : материалы 9-й Междунар. науч. конф. : [в ? т.]. — Минск : БНТУ, 2011. — Т. 1. — С. 343—344.

Материал поступил в редакцию 16.05.2013 г.

The improvement of machine parts performance in the conditions of increasing loads due to the increase in speed, power and load-carrying capacity and other operational parameters may be achieved by using a volume-surface hardening of products made of inexpensive carbon steels with the use of induction product heating, which allows increasing the machine parts strength and durability significantly and, at the same time, reducing their cost.