



The manufacturing methods with application of induction heat and controlled chilling, developed at the Minsk automobile plant, are given.

П. С. ГУРЧЕНКО, РУП "МАЗ"

ИНДУКЦИОННЫЙ НАГРЕВ И УПРАВЛЯЕМОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМООБРАБОТКИ НА МИНСКОМ АВТОЗАВОДЕ

Впервые опыты по использованию токов высокой частоты для нагрева стальных изделий с целью их последующей закалки проводились в 1926 г. профессором В. П. Вологдиным и инженером Кировского завода Н. М. Беляевым в лаборатории высокочастотной электротехники при Ленинградском электротехническом институте. Поверхностный характер нагрева, выявленный в процессе работы, был оценен как крупный недостаток метода и стал тормозом для его промышленного применения. В январе 1936 г. на ЗИЛе работниками завода С. Е. Рыскиным и К. З. Шепеляковским, которые впоследствии стали авторами многих научно-исследовательских работ по индукционному нагреву деталей, при участии директора завода И. А. Лихачева были впервые проведены работы по поверхностной закалке шеек коленчатых валов двигателя автомобиля ЗИЛ. С особого разрешения нагрев производили от генераторов Октябрьской, а затем Минской радиостанций. Положительные результаты этой работы открыли дорогу поверхностной закалке в автомобильную и тракторную промышленность. Выявились основные преимущества индукционного нагрева: неограниченная возможность регулирования температуры и скорости нагрева, отсутствие обезуглероженного слоя и окарины, резкое уменьшение термических деформаций, высокая культура производства, экономия топливно-энергетических ресурсов. Благодаря своим достоинствам в последующие годы технология индукционного нагрева интенсивно развивалась.

Состояние технологий индукционного нагрева на МАЗе

3 марта 2002 г. исполнилось 45 лет со дня организации на Минском автомобильном заводе (МАЗ) лаборатории электронагрева. В 1956 г. индукционному нагреву под закалку на МАЗе уже подвергали 23 наименования деталей автомобиля, а в 1982 г. количество деталей достигло 400, а

мощность высокочастотного оборудования выросла до 10 000 кВт. В настоящее время только на Минском автозаводе индукционный нагрев применяют для заготовок и деталей более 700 наименований [1, 6]. При этом индукционной закалке подвергают более 200 деталей, нагреву под ковку, штамповку и высадку в кузнечном и агрегатном цехах — более 400 наименований, более 100 наименований инструмента проходит индукционный нагрев под напайку и отпайку твердосплавных пластин в термическом цехе штампового производства. Около 100 наименований осевого инструмента проходит закалку хвостовиков с нагревом ТВЧ. Более 1000 т в год точного стального литья по выплавляемым моделям выплавляется в цехе спецлитья с использованием ТВЧ. В ремонтно-механическом цехе используется установка ТВЧ для закалки дисков роторов дробеметных аппаратов. Только на МАЗе общая мощность высокочастотных генераторов составляет 12 820 кВт. Кроме названных выше, большое число деталей (около 250 наименований), ранее освоенных на МАЗе, передано на Минский завод колесных тягачей (МЗКТ), установки и детали — на автоагрегатные заводы в г. Осиповичи, Бобруйск, Калининград, Мионовку, Белорусский автомобильный завод в г. Жодино и другие заводы.

Только на Минском рессорном заводе (МРЗ) с помощью специалистов МАЗа в настоящее время освоены и эксплуатируются четыре индукционные установки общей мощностью генераторов 1200 кВт. Из них две уникальные установки, разработанные специалистами ЦЗЛ УГМет, мощностью по 500 кВт используются для нагрева под прокатку переменного профиля листа малолисто-вой рессоры. Одна установка предназначена для нагрева под пробивку центрального отверстия и другая — для нагрева концов опорных рессоры листов под завивку.

Стандартом Минского автозавода (СТП 17.37.160—87) предусмотрено детали, подвергаемые

Таблица 1. Стали, применяемые на Минском автозаводе для деталей, упрочняемых индукционной закалкой и достигаемая твердость закалочного слоя

Марка стали	Твердость поверхности HRC	Твердость, определяющая толщину закалочного слоя, HRC
30	40–50	30
35	45–56	35
40, 40Л, 40ХНГМА	51–62	40
45, 45Х, 45ХН2МФА, 40Х	53–65	45
40ХН	53–65	40
30ХГСА	48–60	35
35ХГСА, 38ХГСА	50–60	40
47ГТ	53–63	40
У7, У8, У10	56–66	45

индукционной закалке, изготавливать из среднеуглеродистых низколегированных сталей. Однако подвергаются упрочнению индукционной закалкой некоторые детали автомобиля, изготовленные из низкоуглеродистых сталей типа 20, 3КП, высокоуглеродистых типа У8, 65Г, а также сложнелегированных типа 45ХН2МФА. Рекомендуемые для упрочнения индукционной закалкой стали и твердость, гарантированная на поверхности закаленного слоя для них, приведены в табл. 1.

Толщину эффективного закаленного при индукционном нагреве слоя на Минском автозаводе контролируют по твердости (табл. 1) или по структуре. При этом для ряда деталей толщину закаленного слоя принимают до структуры, содержащей 50% мартенсита. Для деталей, подвергающихся в процессе упрочнения отпуску и изготовленных из отожженных и нормализованных заготовок, толщину закаленного слоя измеряют до появления первых включений феррита. При этом рекомендуемыми интервалами толщины закалочного слоя являются: 0,8–2,5, 1,5–4,0, 2,0–5,0, 3,0–6,0, 5,0–9,0. В ряде случаев оговаривают только нижнее значение твердости или толщины закаленного слоя.

При закалке отдельных ответственных деталей интервалы твердости и толщины задают в более жестких пределах. Нижний предел твердости в этом случае обеспечивают достаточным содержанием углерода применяемой стали и оптимальными режимами нагрева и охлаждения при закалке, а верхний — режимом последующего отпуска при печном нагреве.

При выборе марки стали для конкретной детали руководствуются правилом: чем выше желаемая твердость зоны закалки, тем выше должно быть содержание углерода в стали. Однако при этом необходимо учитывать, что стали с содержанием углерода более 0,40% склонны к образованию закалочных трещин при закалке водой (другие закалочные среды при индукционной закалке на МАЗе не применяются). В связи с этим для деталей, имеющих в зоне закалки острые кромки, изменение размера сечения, проточки, шлицы, отверстия и другие концентраторы напряжений,

необходимо выбирать стали с пониженным содержанием углерода. В противном случае следует применять для каждой детали приемы закалки, предотвращающие появление закалочных трещин.

Некоторые детали автомобиля, закаливаемые на специальных установках, можно отнести к типовым деталям сложной формы. При закалке они требуют особых приемов и особой наладки. К таким деталям относятся полуоси и цапфы ведущего моста автомобиля, шкворни поворотного устройства, гильзы цилиндров с закаливаемой внутренней поверхностью, различные головки и опоры с внутренними обрабатываемыми сферическими поверхностями и ряд деталей, имеющих внутренние и наружные шлицы, требующие упрочнения.

Индукционное оборудование, созданное на МАЗе

Известные методы и устройства поверхностной закалки при индукционном нагреве в ряде случаев не обеспечивают желаемых результатов, особенно для деталей сложной конфигурации, имеющих в зоне закалки острые кромки, шлицы, переход сечения и другие концентраторы напряжений. При этом нерациональная конструкция нагревательных и охлаждающих устройств иногда сводит к нулю все преимущества индукционного нагрева и делает его неприменимым даже для деталей простой формы.

Одним из направлений работ на МАЗе стало создание и внедрение индукционных установок для нагрева токами высокой частоты заготовок под пластическое деформирование и термообработку. Характерной особенностью индукционной закалки является то, что к каждой новой детали необходим индивидуальный подход. Надо разработать и изготовить отдельный индуктор и подобрать режимы нагрева и охлаждения для получения требуемых параметров закалки. В ряде случаев необходима разработка специальных приспособлений и механизмов, а в отдельных случаях создаются специальные закалочные станки. Так, детали простой цилиндрической формы, которые состав-

ляют примерно 70%, требуют только разработки индуктора и режимов закалки. Их обработка производится на универсальных закалочных станках.

Для нагрева под деформирование и упрочнение ряда деталей выпускаемой автомобильной техники на МАЗе созданы специальные установки: станок-полуавтомат для поверхностной закалки сферы шаровых пальцев производительностью 500 шт/ч; станок-полуавтомат для непрерывно-последовательной поверхностной закалки пальцев рессор автомобилей производительностью 300 шт/ч; установки для поверхностной закалки поворотных кулаков передней оси с выходом зоны закалки на галтель; установка для объемно-поверхностной закалки шкворней передней оси с глубинного нагрева; установка для нагрева чизельного зуба длиной более 2 м, которая внедрена на Кобринском автоагрегатном заводе; установки электроконтактного нагрева прутков длиной до 6 м под навивку пружин и нагрева этих пружин под закалку на КЗТШ; установки для индукционного нагрева заготовок под прокатку листов малолисто-вой рессоры на МРЗ; установка для нормализации кольцевых сварных швов картера заднего моста; установки для локальной нитроцементации при индукционном нагреве пальцев рессоры и реактивной штанги.

Широкое применение на МАЗе получил индукционный нагрев под обработку давлением. В настоящее время в кузнечном цехе на 14 индукционных установках производят нагрев более 370

наименований заготовок под ковку, штамповку и высадку. Общая мощность используемых генераторов достигла 6600 кВт. Ряд индукционных установок являются оригинальными разработками специалистов МАЗ. К ним относятся установка для нагрева под высадку и гибку заготовок вала стабилизатора; установка для нагрева заготовок стремянок; установка для концевой нагрева заготовок под высадку головок. Еще 11 установок используются для нагрева под высадку в агрегатном цехе МАЗа, где индукционному нагреву подвергают более 60 наименований заготовок.

Созданные на МАЗе прогрессивные технологии

Прерывистая закалка. При упрочнении деталей сложной формы представляют проблему закалочные трещины и деформации. Для предотвращения трещин при поверхностной закалке деталей сложной конфигурации исследованы и освоены на Минском автозаводе технология и устройства программного прерывистого охлаждения водяным спрейером [1, 2, 6]. Температурный график прерывистого охлаждения для шлицевых образцов приведен на рис. 1, б.

В результате исследований установлено, что кратковременные паузы в процессе интенсивного охлаждения при жестком регулировании давления, расхода и длительности импульсов охлаждения и перерывов между ними обеспечивают отсутствие трещин и деформаций. При этом реали-

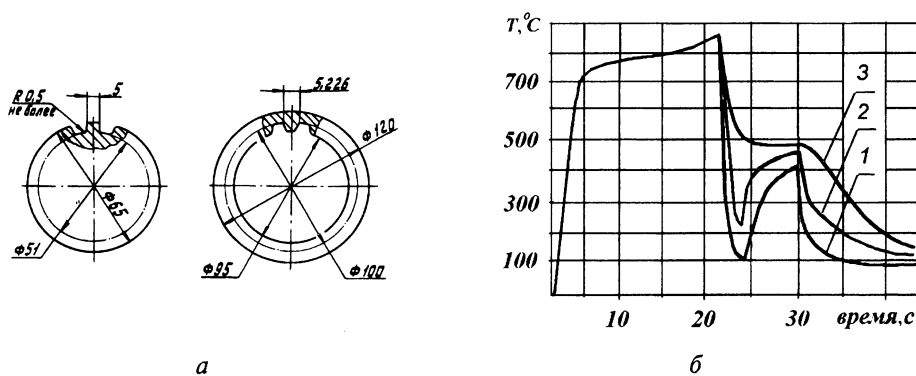


Рис. 1. Образцы для исследования прерывистой закалки (а) и расчетные графики индукционного нагрева и прерывистого охлаждения для вершины и впадины шлицевой поверхности (б): нагрев 23 с до 900 °С на частоте 8 кГц; 1 — температура вершины шлица; 2 — температура впадины; 3 — на расстоянии 10 мм от поверхности впадины

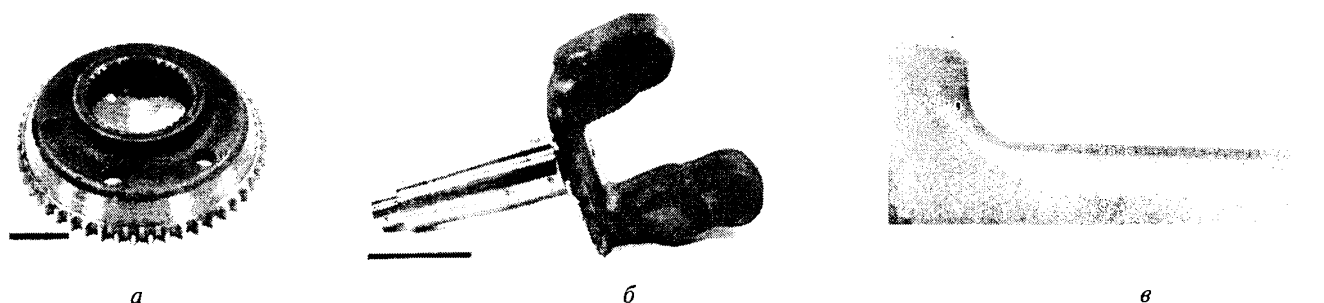


Рис. 2. Ступица колесной передачи (а), поворотный кулак (б) автомобиля МАЗ, упрочняемые прерывистой закалкой и расположение зоны закалки на цилиндрической части и галтели кулака (в). Сталь 40Х

зовано комбинированное упрочнение одной нагретой детали по двум видам закалки. В поверхностном слое упрочняемой зоны происходит закалка с самоотпуском на твердость 47—50 HRC, а в слоях, расположенных на расстоянии 0,5—1,0 мм, — ступенчатая закалка на твердость 50—52 HRC. Использование технологии прерывистой закалки для шлицевых деталей и поворотных кулаков (рис. 2) из стали 40X полностью исключило образование термических трещин.

В процессе исследования процесса прерывистой закалки совместно с ИТМО НАН Беларуси разработана математическая модель процесса поверхностной закалки при индукционном нагреве, позволяющая прогнозировать распределение температурных полей в процессе нагрева и охлаждения и расположение упрочненного слоя в сечении обрабатываемых деталей [7].

Бездеформационная закалка шестерен. Для предотвращения термических деформаций при упрочнении шестерен исследованы и внедрены на минских автозаводе, тракторном и заводе колесных тягачей технология и оборудование для индукционной закалки шестерен модулем от 4 до 12 мм из сталей 40X и 40XH [1, 3] (рис. 3).

Особенностью технологии является то, что нагреву под слоем проточной воды подвергают узкую полоску шириной около 3 мм, расположенную вдоль вершины зуба. Эта полоса нагрева непрерывно передвигается от вершины зуба к его впадине и далее к вершине соседнего зуба (рис. 4, б). Скорость перемещения изменяют от наибольшей на вершине до наименьшей на впадине, что обеспечивает получение равномерной толщины закаленного слоя на вершинах и впадинах зубьев.

Благодаря тому что нагреву не подвергается даже сердцевина зуба, термические деформации при закалке полностью отсутствуют. Станок для закалки шестерен с внутренним зубом, схема передвижения индуктора относительно зубчатой поверхности и расположение закаленного слоя по сечению шестерни показаны на рис. 4. В связи с невозможностью измерения температуры в зоне обработки термокинетические параметры определяли методом математического моделирования. Установлено, что скорость нагрева достигает 10 000 °C/с, а охлаждения — 6000 °C/с. Для сталей 40X и 40XH на обрабатываемых поверхностях достигнута твердость 56—64 HRC при толщине упрочненного слоя 1,5—2,0 мм.

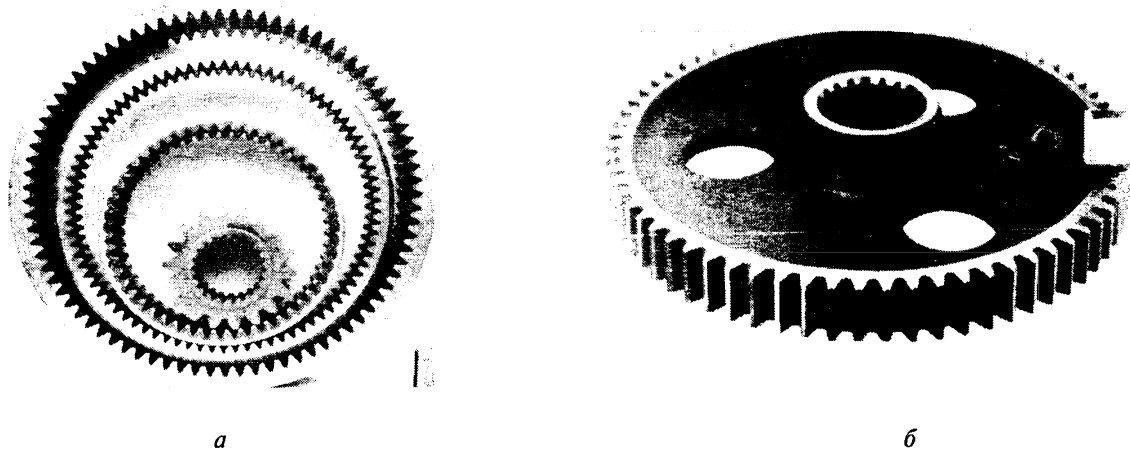


Рис. 3. Шестерни, подвергаемые упрочнению индукционной закалкой: а — колесной передачи автомобилей МАЗ, МЗКТ, БелАЗ; б — шестерни конечной передачи трактора "Беларус"

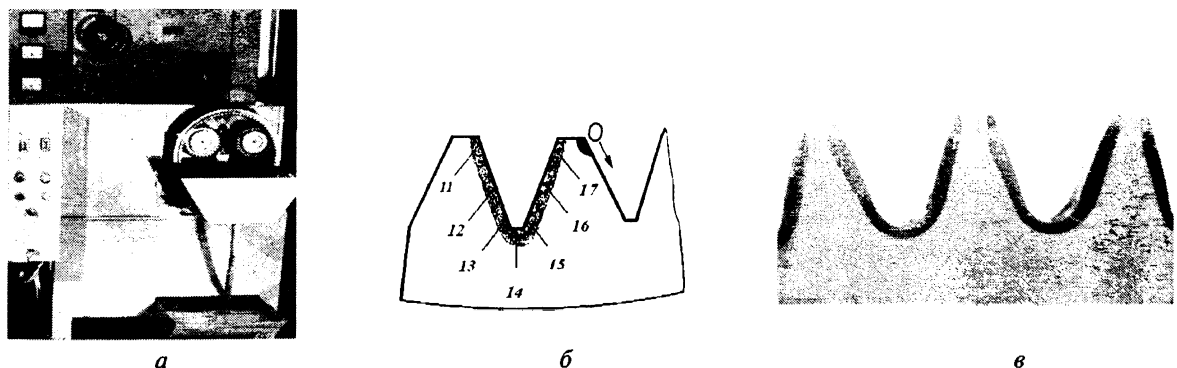


Рис. 4. Индукционная установка для закалки внутренней зубчатой поверхности шестерен модулем 4,0 и 4,5 мм колесной передачи автомобилей Минского завода колесных тягачей (а), схема передвижения индуктора относительно зубчатой поверхности (б) и расположение зоны закалки в сечении зубчатой поверхности шестерен (в)

По сравнению с действовавшей ранее технологией печного упрочнения закалка при индукционном нагреве ведомых шестерен колесной передачи позволила более чем в 300 раз сократить длительность упрочнения (3 мин вместо 1 сут), в десятки раз уменьшить термические деформации, ежегодно экономить около 4 млн кВт·ч электроэнергии, более 40 тыс. м³ природного газа, 8 т чугушной дробы. Отпала необходимость в жаропрочных и жароупорных материалах, закалочном масле, экологически вредном асбесте, устранены выбросы в окружающую среду тепла и вредных веществ. Затраты труда сокращены на 8 тыс. нормо-часов, что соответствует ежегодному труду четырех производственных рабочих.

Технология с 1994 г. используется для упрочнения шестерен колесной передачи автомобилей МАЗ и МЗКТ.

Скоростная нитроцементация при индукционном нагреве. На Минском автозаводе совместно с ФТИ НАН Беларуси разработан способ нитроцементации при индукционном нагреве в парах триэтанолamina до температур 1050—1100 °С в течение 3 мин. Исследованы закономерности формирования диффузионных слоев при нагреве токами высокой частоты со скоростями 50—200 °С/с и в интервале изотермических выдержек 0,1—30 с. Изучены условия формирования диффузионных слоев, содержащих ледебуритную эвтектику. Созданы технологический процесс и оборудование для упрочнения пальцев рессоры и пальцев реактивной штанги задней подвески автомобилей МАЗ [1, 4, 5].

Стеновыми и дорожными испытаниями образцов и деталей автомобилей МАЗ установлено, что в результате нитроцементации с последующей поверхностной закалкой сталей 45, 40Х, 40ХН их износостойкость по сравнению с обычной поверхностной закалкой повышается в 1,7—3,5 раза и в 1,3—1,7 раза выше по сравнению с цементованными сталями 25ХГТ и 20ХНЗА [4, 5]. Производ-

ственная эксплуатация установок нитроцементации показала их надежность в работе и высокую степень повторяемости результатов обработки. По отзывам автохозяйств СНГ срок службы пальцев рессоры и реактивной штанги увеличился в 1,5—2,5 раза.

Управляемая закалка водовоздушной смесью. В кузнечно-термическом цехе инструментально-штампового производства МАЗа внедрена производственная установка для управляемой водовоздушной закалки штампов массой до 8 т и габаритами до 1 м (рис. 5). [6]. Охлаждение рабочей части штампа (гравюры) из стали 5ХНМ после печного нагрева на 860 °С производится путем направленной импульсной подачи водовоздушной смеси через управляемые форсунки, на каждой из которых установлен клапан, управляемый по программе, задаваемой системой управления. Температура и давление подаваемых к форсункам воды и воздуха контролируются и стабилизируются в блоках системы контроля и регулирования. Охлаждение производят только со стороны гравюры. Режим охлаждения заранее рассчитывают на ЭВМ путем математического моделирования температурных полей по поверхности и сечению штампа. Методика предусматривает создание программы управляющих воздействий на каждую форсунку с целью достижения заданной термической кривой охлаждения для каждой из зон упрочняемого изделия. Принудительное охлаждение продолжают до тех пор, пока расчетное количество тепла, оставшегося в штампе, не станет соответствовать заданной средней температуре самоотпуска. После достижения заданного значения тепла охлаждение гравюры штампа прекращают и производят самоотпуск. При этом через 5 мин температура по всему сечению штампа выравнивается за счет теплопроводности и достигает заданному значению.

В процессе принудительного закалочного охлаждения гравюры штампа хвостовик охлаждается за счет теплообмена с окружающим воздухом и путем теплопроводности через тело штампа.

Исследовано применение водовоздушной охлаждения после индукционного нагрева для локального упрочнения отливок из ковкого чугуна. Получены заданные твердость и структура перлита, сорбита, троостита или мартенсита с заданной в узких интервалах твердостью, обеспечивающих повышение эксплуатационных свойств деталей. Например, при получении структуры 90—100% перлита твердостью 210—240 НВ прочность образцов на смятие резьбы при растяжении возрастает вдвое по сравнению с исходным необработанным состоянием ферритно-перлитной структуры.

Выводы

Созданные на Минском автомобильном заводе технологические процессы с применением индукционного нагрева и управляемого охлаждения и оборудование обеспечивают повышение надежности и долговечности упрочняемых деталей, культу-

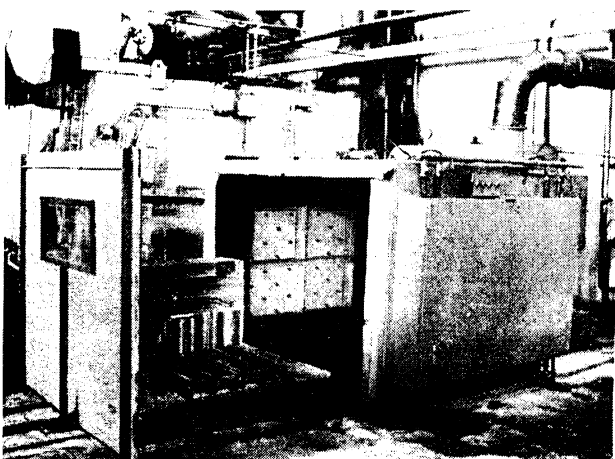


Рис. 5. Производственная установка Минского автозавода для управляемой закалки водовоздушной смесью штампов габаритами 1000×1000×12000 и массой до 8 т

ры производства и производительности труда при упрочнении, экономии энергетических, трудовых и материальных ресурсов, уменьшение закалочных деформаций и предотвращение трещин при упрочнении, а также устранение экологически вредных факторов при производстве и эксплуатации продукции.

Литература

1. Гурченко П. С. Упрочнение при индукционном нагреве и управляемом охлаждении. Гомель: ИММС НАН Беларуси, 1999.
2. Гурченко П. С. Исследование процесса прерывистой закалки деталей сложной конфигурации при индукционном нагреве // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. 1999. № 2. С. 34—40.
3. Гурченко П. С. Поверхностное термоупрочнение зубчатых колес с применением индукционного нагрева // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. 1999. № 2. С. 65—74.
4. Бодяко М. Н., Гурченко П. С., Шипко А. А. Цементация стальных деталей при индукционном нагреве в жидких средах // Весці АН БССР. Сер. фіз.-тэхн. навук. 1985. № 3. С. 18—22.
5. Бодяко М. Н., Шипко А. А., Гурченко П. С. Исследование и разработка технологического процесса скоростной нитроцементации деталей автомобиля // МиТОМ. 1986. № 8. С. 11—14.
6. Ракомсин А. П., Гурченко П. С. Индукционный нагрев и управляемое охлаждение — эффективный способ упрочнения деталей // Автомоб. пром-сть. 2000. № 5. С. 29—31.
7. Гурченко П. С., Герман М. Л. Математическое моделирование температурного поля при закалке шестерен индукционным нагревом под слоем воды // ИФЖ. 2000. Т. 73, № 2. С. 423—429.



01.09-14Г.68. Шибберные системы НКМЗ для современного комплекса оборудования производства стали.

Белобров Ю. Н., Пильгаев В. М. Металлург. 2000. №9. С. 37—38. Рус.: рез. англ.

НКМЗ изготавливает затворы, аналогичные затвору фирмы IBERZET (Испания) по лицензии фирмы ТЕСНСОМ (Германия). К преимуществам данного затвора можно отнести возможность замены огнеупоров непосредственно на сталеразливочном ковше за 5–10 мин (в зависимости от квалификации и опыта обслуживающего персонала), исключение потребности в специальном участке по обслуживанию и в использовании дополнительного оборудования. Затвор состоит из следующих основных элементов: верхней плиты, крепящейся на специальном основании на днище ковша с помощью четырех болтов и шпонки, нижней плиты, соединенной с верхней с помощью двух осей, вкладыша, установленного в нижней плите, фиксируемого болтами. Ковшовой стакан вставляется в футеровку ковша, в верхнюю плиту вкладывается огнеупорная плита. Такая же плита и стакан-коллектор вкладывается в плиту среднюю (вкладыш). Сжатие плит осуществляется защелками с пружинами, закрепленными на верхней плите на оси. Зазоры между стальными плитами и огнеупорами уплотняются с помощью мертеля. К вкладышу крепится тяга и экран. К нижней плите крепится коллектор для обдува пружин сжатым воздухом во время разливки и экран. Открытие-закрытие затвора осуществляется с помощью гидроцилиндра. Первыми заказчиками затворов стали НКМЗ (мартеновский цех), ММЗ, ДМЗ и другие предприятия. Всего было изготовлено 44 затвора. Эксплуатация подтвердила высокие работоспособность и эксплуатационные показатели шибберных затворов НКМЗ, не уступающие импортным затворам. В настоящее время на НКМЗ изготавливаются 3 затвора для Узбекского металлургического завода и 10 для Енакиевского металлургического завода. Подготовлены технико-коммерческие предложения для других предприятий.

01.09-14Г.69Д. Исследование и совершенствование составов и свойств металлургических порошков для засыпки каналов шиббера сталеразливочных ковшей.

Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Ребинский Г. А. Липецк. гос. техн. ун-т. Липецк. 1999, 16 с. Библ. 15. Рус.

Изучены процессы физико-химического взаимодействия ингредиентов, протекающих в системе жидкая сталь — засыпка — канал шибберного затвора и с учетом установленных закономерностей разработан комплекс технологических мероприятий, направленных на повышение качества огнеупорных порошков.