

калки всех шестерен заднего моста из сталей пониженной прокаливаемости на всю номенклатуру автомобилей МАЗ.

### **Выводы**

Среднеуглеродистые низколегированные стали 40Х, 40ХН, и стали пониженной прокаливаемости У8А, 60ПП, 80ПП могут быть успешно применены для изготовления зубчатых колес главной и колесной передач заднего моста автомобилей. Поверхностная и объемно-поверхностная их закалка с применением индукционного нагрева и жесткого регулирования технологических параметров нагрева и охлаждения позволяют обеспечить их высокие эксплуатационные свойства, не уступающие шестерням из стали 20ХН3А, упрочненным химико-термической обработкой. При этом снижается в 2 раза стоимость стали и технологических операций упрочнения, сокращается в сотни раз длительность цикла упрочнения, снижается в десятки раз расход электроэнергии. Отпадает потребность в закалочном масле, жаропрочных и жаростойких материалах, природном газе, газоподготовительном оборудовании. Устраняются вредные выбросы в окружающую среду.

УДК 678.7: 687.029:678.01

**А.В. Богданов, П.С. Гурченко, А.И. Михлюк, М.К. Федосенко**

## **УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ПРИ РЕМОНТЕ ОБОРУДОВАНИЯ НА МИНСКОМ АВТОЗАВОДЕ**

*РУП "Минский автомобильный завод"*

При ремонте оборудования от качества термической обработки заменяемых изнашивающихся или выходящих из строя по другим причинам деталей зависят не только межремонтный ресурс работы оборудования, затраты на его ремонт, точность обрабатываемых на нем деталей, расход электроэнергии, но и безопасность работающего персонала. Традиционными методами упрочнения запасных стальных частей оборудования является печная термическая или химико-термическая обработка. Однако печные виды упрочнения связаны с необходимостью специальных приспособлений, применением специальных сталей, термическими деформациями, большой трудоемкостью и длительностью, достигающей десятков часов. В ряде случаев из-за совокупности указанных факторов, и особенно для крупногабаритных деталей и деталей сложного профиля, традиционные печные виды упрочнения становятся вообще технически невыполнимыми. В связи с этим на Минском автомобильном заводе в течение ряда лет проводятся работы по освоению упрочнения деталей ремонтного производства поверхностной закалкой с применением индукционного нагрева ТВЧ. Применение ТВЧ делает возможным локальное упрочнение поверхностей износа деталей любой конфигурации и размеров, не приводя при этом к термическим деформациям, не вызывая образование окалины на упрочняемых поверхностях и не требуя, как правило, специального оборудования и приспособлений. В 2002 г. в ремонтном цехе МАЗ проходят термообработку более 100 различных деталей металлорежущего и другого оборудования.

### **Закалка типовых деталей ремонтного производства.**

Наиболее массовые детали ремонтного производства, подвергаемые поверхностной закалке ТВЧ, это валы, оси, шестерни. Закалку этих деталей производят на универсальных индукционных установках одновременным или непрерывно-последовательным методом с применением типовых индукторов. Изготавливают детали, как пра-

вило, из сталей 35, 40, 45, 40X, 40XH. Для валов и осей обычно получают на поверхности твердость 48 – 54 HRC, глубина закаленного слоя составляет 2 – 4 мм.

Шестерни ремонтного производства закалывают с применением одновременного нагрева по ободу в типовых цилиндрических индукторах (Рис.1,а) благодаря простоте осуществления этого способа закалки на универсальных установках. При этом методе закалки мощность высокочастотных источников, их частота и режимы нагрева могут колебаться в широких пределах в зависимости от имеющегося в наличии оборудования. Рекомендуемая удельная мощность обычно составляет  $0,5 - 1,5 \text{ кВт/см}^2$ . Время нагрева – от 5 до 40 с. Этот способ закалки применяют для малонагруженных зубчатых колес диаметром до 300 мм, когда нет опасения, что закаленный насквозь зуб сломается в процессе эксплуатации. К таким зубчатым колесам относятся шестерни металло-режущих станков. В качестве материала для этих шестерен применяют обычные среднеуглеродистые и малолегированные стали типа 35, 40, 45, 40X, 40XH и др. После закалки детали, как правило, подвергают отпуску на твердость зуба 45 – 50 HRC. Картина расположения закаленного слоя в сечении зубчатой поверхности может иметь различный вид в зависимости от размеров зубчатых колес и применяемого оборудования. Так, у шестерен малого модуля (до 2 мм) даже при нагреве на радиочастоте с мощностью до 100 кВт зуб прокаливается насквозь практически на одинаковую твердость. Обод под зубчатой поверхностью также закаливается на глубину 1 – 10 мм в зависимости от применяемой частоты, мощности и размеров шестерни (Рис.1,б,в). При применении радиочастот для шестерен с модулем более 4 мм впадина нагревается значительно медленнее, и к моменту нагрева зуба до оптимальной температуры закалки температура на впадине не достигает закалочной. Закаленный слой имеет обрыв у ножки зуба, как показано на рис.1, г, что недопустимо.

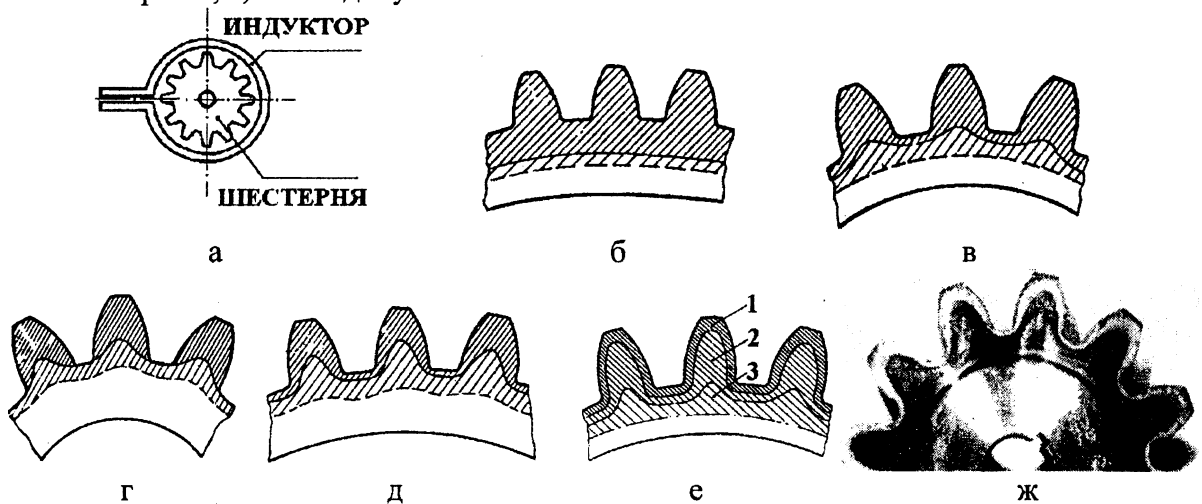


Рис.1. Схема расположения индуктора относительно шестерни (а) и форма закаленного слоя при закалке по ободу: б - д – поверхностная закалка среднеуглеродистой стали; е – поверхностная закалка после цементации. 1 - закаленный цементированный слой, 2 - закаленная нецементированная зона, 3 - зона, прогретая, но незакаленная, ж - закалка шестерни шириной венца 10 мм и диаметром 100 мм, параметры нагрева – 3 с, 100 кВт, 66 кГц

При определенном сочетании частоты, мощности и размеров обрабатываемых шестерен расположение закаленного слоя может иметь вид закалки по контуру (рис. 1, д). Распределение твердости по глубине закаленного слоя во всех случаях зависит от применяемой марки стали. Толщина закаленного слоя на впадине в этом случае зависит не только от частоты и мощности, но и от прокаливаемости применяемой марки стали. Этот фактор использован при разработке на базе способа закалки по ободу технологии

объемно-поверхностного упрочнения при глубинном нагреве. На Минском автозаводе закалку по контуру при одновременном индукционном нагреве всего венца применяют при упрочнении шестерен диаметром 50 – 120 мм, шириной венца 10 - 25 мм и модулем 3 – 5 мм. Для таких шестерен эффект контурного нагрева возможно обеспечить применением широко распространенных преобразователей частоты мощностью 100 – 250 кВт и частотой 8 – 66 кГц. Расположение закаленного слоя по периметру такой шестерни показано на рис.1,ж.

### **Закалка станин металлорежущего оборудования**

Важное значение имеет термическая обработка при ремонте металлорежущего оборудования. Одним из важных показателей работоспособности металлорежущего станка является износ направляющих станин, изготавливаемых из серого чугуна. На станкостроительных заводах направляющие станков подвергают закалке ТВЧ. Но в процессе интенсивной эксплуатации оборудования закаленный поверхностный слой направляющей глубиной 1,5-2,5 мм изнашивается, а последующая шлифовка при капитальном ремонте его практически полностью убирает. Поэтому направляющие станин после капитального ремонта не могут по своей точности, износостойкости и долговечности конкурировать с новыми.

На Минском автомобильном заводе был разработан, изготовлен и внедрен специальный станок для закалки ТВЧ направляющих станин металлорежущих станков после капитального ремонта. На рис.2 показан общий вид установки ТВЧ для закалки направляющих. В состав установки входит: рама, на которой смонтирован привод, подвижный стол, установленный на рельсовой тележке, бак для сбора охлаждающей воды и радиально-сверлильный станок с установленным на нем закалочным трансформатором и пускорегулирующей аппаратурой. Управление установкой осуществляется с пульта управления. С помощью привода и подвижного стола, на который устанавливается закаливаемая станина обеспечивается необходимая скорость перемещения станины при закалке. С помощью механизмов вертикально-горизонтального перемещения станка обеспечивается подвод индуктора к закаливаемой станине с необходимой точностью.

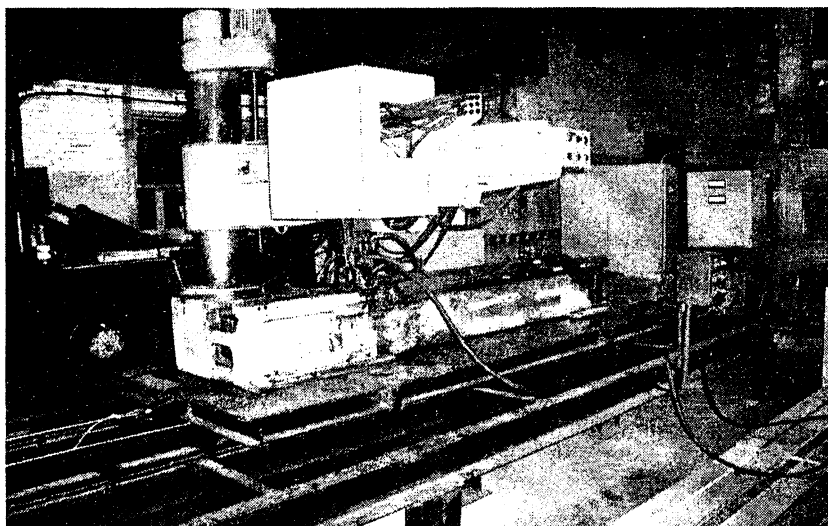


Рис.2 Индукционная установка для закалки ТВЧ направляющих станин металлорежущих станков.

Установка позволяет производить закалку станин длиной до 6 метров. Разработана и изготовлена серия индукторов для закалки различных профилей направляющих станин. В качестве источника ТВЧ используют машинный преобразователь ВПЧ 100/8000 мощностью 100 кВт и частотой 8000 Гц. Твердость закаленной станины после термообработки составляет 46-52 HRC, глубина закаленного слоя составляет 1,5-3,5 мм.

На рис.3. представлена микроструктура станин до, и после закалки ТВЧ.

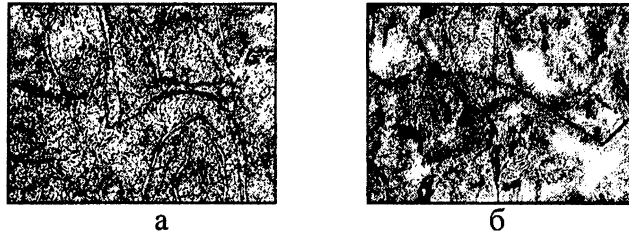


Рис.3 Микроструктура станины металлорежущего станка до (а) и после (б) закалки

До закалки структура представляет собой серый чугун с перлитной основой с твердостью 170 – 190 НВ. После закалки основа чугуна имеет троостомартенситную структуру с твердостью 46 – 52 HRC. Графитовые пластины практически остались без изменения.

Проведены сравнительные испытания образцов, вырезанных из закаленной и незакаленной станины, в условиях сухого трения-скольжения в ИНДМАШ НАНБ на установке (трибометре) МТВП-9, оснащенной устройством для измерения коэффициента трения, по схеме возвратно-поступательного движения контактирующих тел при средней скорости их взаимного перемещения 0,06 м/сек. Удельной давление испытаний составляло 5Мпа. В качестве контртела использовали сталь У8 (HRC 60). Проведенные испытания показали значительно меньшие (более 100 раз) значения весового износа закаленных образцов по сравнению с незакаленными.

Внедрение установки позволило увеличить срок службы станин после капитального ремонта в 3 раза. Конструкция установки позволяет производить закалку, как универсального металлорежущего оборудования, так и силовых столов специальных станков автоматических линий, применяемых на производстве. Экономический эффект от снижения затрат при ремонте металлорежущего оборудования в 2002 году составил 25,4 млн. рублей РБ. С 2002 году на установке производится закалка станин всех токарновинторезных станков, подлежащих капитальному ремонту, а с 2003 года планируется освоить и закалку силовых столов к автоматическим линиям.

#### **Упрочнение цепей подвесных конвейеров**

Цепи подвесных конвейеров нашли на заводе самое широкое применение. Достаточно сказать, что общая продолжительность подвесных конвейеров на заводе составляет более 7 км для цепей с шагом 100мм и около 14 км для цепей с шагом 160 мм. При этом режим работы цепей 2-3 сменный, при тяжелых условиях эксплуатации. Только годовая потребность завода в ремонте составляет 2,5 км для цепи 100 мм и 6 км для цепи 160 мм. Учитывая то, что производство цепей в РБ не освоено и для их закупки требуется валюта, становится очевидным актуальность освоения производства данного вида продукции для собственных нужд.

В связи с вышеизложенным на Минском автозаводе проведены работы по подготовке производства конвейерных цепей собственного производства, спроектированы и изготовлены штампы, откованы первые партии деталей.

С целью получения высокого качества и долговечности элементов цепей на МА-Зе проведена работа по определению причин выхода цепей из строя, выбору марки

стали и определению оптимальных режимов термообработки. Подвесная цепь состоит из трех элементов: звено наружное, звено внутреннее и валик. Анализ неисправностей показал, что основные причины выхода подвесного конвейера из строя две: разрыв цепи, приводящий к аварийной остановке конвейера и износ цепи в местах интенсивного трения, приводящий к нарушению шага и сбоям в работе конвейера. Причем разрыв цепи происходит только по звену внутреннему, а износ по месту контакта звена внутреннего с валиком. Поставляемые ранее элементы цепей проходили объемную термообработку на твердость 35-40 HRC. Исходя из этого, ставилась задача максимально упрочнить места износа, при обеспечении достаточной прочности остальной поверхности. При этом деталь должна обладать достаточной пластичностью для предотвращения хрупкого излома, возникающего при перекосах цепи, неизбежных при работе.

Партия элементов цепи "звено внутреннее" из стали 40 была обработана по различным режимам и испытана на растяжение на разрывной машине ZDM-100 по схеме, приведенной на рис.4.

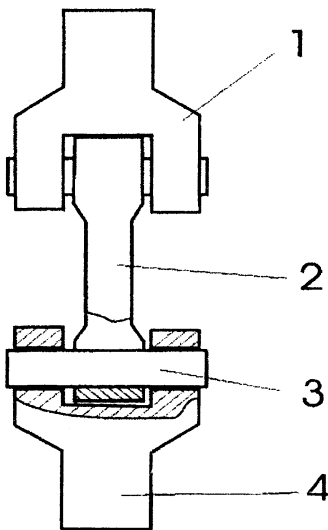


Рис.4. Схема испытания звена цепи на растяжение: 1 - верхний держатель, 2 - звено цепи, 3 - стержень, 4 - нижний держатель

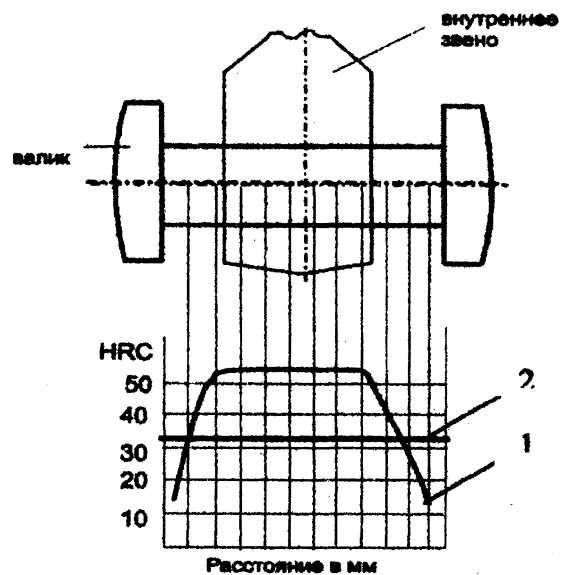


Рис5. Распределение твердости по длине детали "валик": 1- закалка ТВЧ, 2- объемная закалка

В таблице 1 приведены результаты испытаний с последующими замерами твердости по различным режимам термообработки. Разрушение звеньев № 3, 4, 7, 8 произошло с образованием шейки, что свидетельствует о значительной пластичности металла в зоне разрушения. В звеньях № 1, 2, 5, 6 имело место хрупкое разрушение (без образования шейки). По результатам испытаний видно, что для детали звено внутреннее 6НЧ-8 оптимальным является: объемная термообработка на твердость 46-52 HRC и последующий локальный отпуск ТВЧ узких шеек на твердость 32-36 HRC (см. №3,4, таблица №1) для исключения хрупкого излома. При этом за счет последующего распространения тепла по всей массе детали обеспечивается низкий отпуск всей детали для снятия напряжений.

Результаты механических испытаний детали "звено внутреннее"

Номер звена	Режим термической обработки	Усилие разрыва, кН	Твердость, HRC	
			шейка	ушко
1	Закалка 840°C + отпуск 200°C	486	шейка	47-49
			ушко	48-49
2	Закалка 840°C + отпуск 200°C	570	шейка	47-49
			ушко	49-50
3	Закалка 840°C + отпуск ТВЧ 400-450°C шеек	454	шейка	33-35
			ушко	47-48
4	Закалка 840°C + отпуск ТВЧ 400-450°C шеек	440	шейка	33-34
			ушко	46-48
5	Закалка 840°C + отпуск 300°C	776	шейка	44-46
			ушко	45-46
6	Закалка 840°C + отпуск 300°C	728	шейка	44-46
			ушко	45-46
7	Закалка 840°C + отпуск 400°C	606	шейка	36-37
			ушко	39-40
8	Закалка 840°C + отпуск 400°C	598	шейка	35-36
			ушко	39-41

Элемент цепи "валик" был подвергнут закалке ТВЧ взамен объемной термообработки, что позволило значительно повысить твердость поверхности, подверженной износу.

Распределение твердости на рабочей поверхности детали представлено на рис.5. Глубина закаленного ТВЧ слоя составляет 2 - 3,5 мм.

Разработанная технология позволяет повысить стойкость цепи, в 2-2,2 раза, сокращает затраты электроэнергии при производстве, уменьшает затраты при ремонте.

УДК 621.915

В.Г. Куптель, А.Ф. Присевок

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ДЕТАЛЕЙ МАШИН ИЗ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ И ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ ПРИ ВИБРАЦИОННОМ ТОЧЕНИИ

*Белорусская Государственная Политехническая Академия  
Минск, Беларусь*

Обработка резанием существенно изменяет эксплуатационные свойства деталей за счет формирования определенного качества поверхностного слоя: волнистости, шероховатости, наклепа и остаточных напряжений. Особенно это проявляется в процессе резания труднообрабатываемых материалов при наличии вибраций технологической системы. Поэтому обработка резанием должна рассматриваться не только как способ получения деталей определенной формы и размеров, но как эффективный способ управления эксплуатационными качествами деталей.