

В настоящее время исследуется возможность изготовления специального ленточного абразивного инструмента и отрабатываются режимы ленточного шлифования для обработки деталей из конструкционных и декоративных пластмасс, стекла, дерева и т.п. Готовится технико-экономическая документация для организации на базе "Полоцкого завода "ПРОММАШРЕМОНТ" специализированного опытного производства по изготовлению ленточного абразивного инструмента мощностью 50 тыс. усл.шт./год.

УДК 678.7: 687.029:678.01

**А.П. Ракомсин, И.С. Гаухштейн,
П.С. Гурченко, А.И. Михлюк**

УПРОЧНЕНИЕ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ЗАДНЕГО МОСТА АВТОМОБИЛЕЙ ОБЪЕМНО-ПОВЕРХНОСТНОЙ ЗАКАЛКОЙ

РУП «Минский автомобильный завод»

Шестерни заднего моста автомобиля являются тяжелонагруженными деталями, испытывающими в процессе эксплуатации значительные статические и знакопеременные динамические нагрузки. Поэтому правильный выбор материала, способа упрочнения, контроль качества их изготовления в большой степени влияют на надежность и долговечность в эксплуатации автомобиля в целом. По действующей на большинстве автомобильных заводов технологии шестерни заднего моста изготавливают из стали 20ХНЗА (или близкой к ней по химсоставу), подвергают цементации и закалке с повторного нагрева. Эта технология является достаточно надежной и стабильной, обеспечивает высокие прочностные свойства, однако она имеет ряд недостатков: большая длительность процесса, значительные энергозатраты, сложность и большая стоимость оборудования, высокая стоимость применяемых марок стали, значительные деформации в процессе упрочнения.

С целью снижения термических деформаций шестерен заднего моста на Минском автомобильном заводе выполнены работы по упрочнению их методом поверхностной закалки с использованием индукционного нагрева. Отличительными особенностями технологии являются ее низкая стоимость, высокая производительность и абсолютная экологическая чистота. При этом значительно снизились термические деформации, затраты электроэнергии на упрочнение снизились в 10 раз по сравнению с химико-термической обработкой, цикл термообработки сократился: 3 - 4 минут вместо суток. После упрочнения не требуются очистка и механическая обработка деталей, их сразу подают на сборку. С 1995 г. на Минском автомобильном заводе и Минском заводе колесных тягачей производят по этой технологии закалку ведомых шестерен колесной передачи автомобилей. Время закалки 1 шестерни с числом зубьев 51 составляет 3 - 4 мин. Производительность 1 установки 15 - 20 шестерен в час. Результаты стендовых и дорожных испытаний шестерен автомобилей МАЗ и МЗКТ, упрочненных поверхностной индукционной закалкой при непрерывно-последовательном нагреве зубчатой поверхности под слоем воды, а также их многолетняя успешная эксплуатация свидетельствуют, что шестерни из дешевой стали 40Х, упрочненные по новой технологии, не уступают шестерням, изготовленным из сталей 18ХГТ и 20ХНЗА и упрочненным цементацией и азотированием.

В течение 1998-2001гг. на Минском автозаводе проведены работы по контурной закалке ведомых шестерен главной передачи заднего моста самосвала МАЗ 5551, изго-

товленных из сталей 40X и 40XH. По разработанной технологии обеспечена стабильная твердость и глубина закаленного слоя по контуру зуба. Достигнуты глубина и твердость упрочненного слоя ТВЧ равнозначные глубине и твердости цементованного слоя, а величина деформаций не превышает допуска. Однако испытания на стенде с замкнутым силовым контуром опытных шестерен показали недостаточную прочность зубьев при повышенных крутящих нагрузках – во время испытаний происходит отламывание зубьев у ножки. Шестерни заднего моста и расположение зоны закалки в сечении зубьев после контурной закалки показаны на рис. 1.

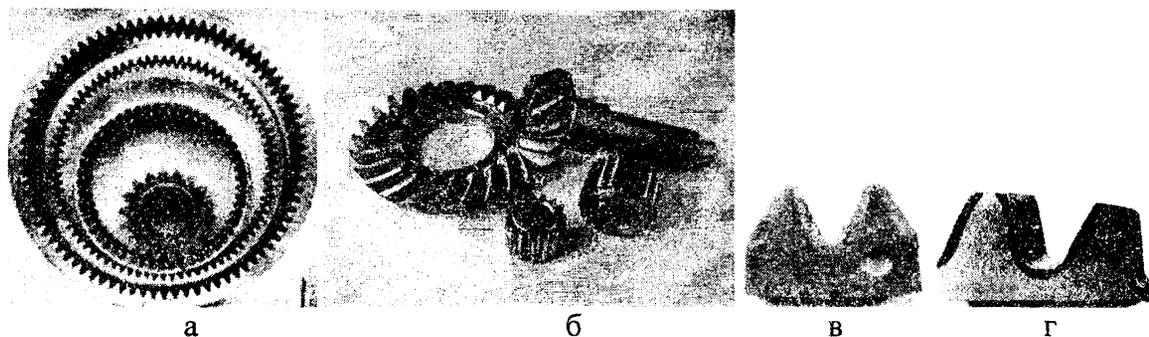


Рис 1 а,б - шестерни колесной и главной передач автомобилей МАЗ и МЗКТ; распределение закаленной зоны в сечении из зубьев после контурной закалки с применением индукционного нагрева: в – ведомой шестерни колесной передачи, г – ведомой шестерни главной передачи заднего моста автомобиля МАЗ.

В качестве основных причин низкой прочности шестерен, упрочненных контурной закалкой ТВЧ, можно назвать недостаточную твердость сердцевины – не более 30 HRC (с более высокой твердостью обработка материала зуборезущим инструментом затруднена), и резкий перепад твердости от 59-62 HRC в закаленном слое ТВЧ до 28-30 HRC в основном металле. Исходя из вышеизложенного, было принято решение о замене марки стали и способа упрочнения.

Для устранения указанных недостатков упрочнения выбран способ объемно-поверхностной закалки (ОПЗ) сталей регламентированной и пониженной прокаливаемости. Стали регламентированной и пониженной прокаливаемости относятся к углеродистым сталям и отличаются пониженным содержанием примесей. Анализ имеющихся сталей позволил выбрать для изготовления опытной партии шестерен главной пары сталь У8А, довольно широко применяемую в машиностроении для изготовления инструмента, а для ведущей шестерни и сателлитов колесной передачи выбраны стали 60ПП и 80 ПП, производство которых освоено на БМЗ (г. Жлобин) для крестовин карданных валов ОАО "Белкард". Стоимость этих сталей в 2 раза ниже стоимости цементуемых, а закалка по методу ОПЗ по сравнению с цементацией также дешевле почти в 2 раза.

Особенность метода ОПЗ заключается в том, что после сквозного нагрева до закалочной температуры деталь в специальном закалочном приспособлении охлаждается интенсивным потоком воды со скоростью порядка 1000 град/сек. В результате получают упрочненный поверхностный слой глубиной, соответствующей прокаливаемости применяемой стали, закаленный на мартенсит, а сердцевина закаливается на структуру троостита или сорбита закалки.

По сравнению с цементацией при одинаковой твердости поверхности получают большую глубину закаленного слоя и твердость сердцевины, а также плавный переход от высокой твердости поверхности (59 – 61 HRC) к более низкой твердости сердцевины (35 – 45 HRC).

Выбор марки стали для каждой из шестерен основан на трех факторах: геометрических размерах зуба, связанных напрямую с величиной модуля, степенью нагруженности шестерни при эксплуатации и глубиной прокаливаемости каждой марки стали. Для ведомой шестерни главной передачи, имеющей большие размеры зуба ($m=12$) и высокие нагрузки при эксплуатации, выбрана сталь У8, с большей прокаливаемостью (3–4 мм). Для прямозубых шестерен колесной передачи с меньшим модулем зуба ($m=4,5$) и меньшими нагрузками при эксплуатации выбрана сталь ПП, обеспечивающая глубину закаленного на мартенсит слоя 1,5–2,5 мм. Это позволило получить большую по сравнению с цементацией глубину закаленного слоя и, в тоже время, избежать сквозной закалки зуба и по тонким сечениям. Распределение твердости при торцевой закалке образцов при исследовании прокаливаемости сталей приведены на рис. 2, химический состав – в табл. 1.

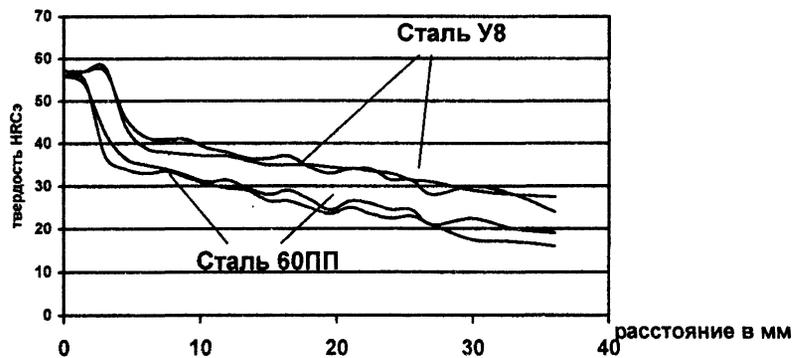


Рис.2. Распределение твердости при определении прокаливаемости торцевой закалкой образцов

Таблица №1

Химический состав стали, применяемой для изготовления шестерен заднего моста автомобиля МАЗ, упрочняемых объемно-поверхностной закалкой

	C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S
Сталь У8	0,80	0,22	0,30	0,05	0,15	0,01	0,02
Сталь 60ПП	0,63	0,21	0,20	0,05	0,10	0,0057	0,0134
Сталь 80ПП	0,83	0,17	0,20	0,05	0,06	0,004	0,011

Закалку шестерен по методу ОПЗ осуществляли в закалочном приспособлении, спроектированном совместно со специалистами ЗАО "ТЕХМАШ"

(г. Москва) и изготовленном на РУП «МАЗ». Для подачи охлаждающей воды использовали насос производительностью 260 м³/ час с рабочим давлением 4 атм. Шестерни 5336-2405028 и 5336-2405035 нагревали в индукторе от генератора частотой 8000 Гц по разработанной программе до температур 780-800 °С. Шестерню 5551-2402060 нагревали в печи СНЗ-3 до температуры 785°С в течение 1 часа.

Для контроля температурного режима закалки использовали хромель-алюмелевые термопары, закрепленные на впадине зуба, боковой поверхности зуба, и внутренней поверхности деталей. Запись температуры осуществляли потенциометром КСП-4, при этом разница в температуре нагрева по измеряемым точкам – составила не более 40-50 °С. По окончании нагрева шестерни переносили в течении 1-2 сек. в приспособление для закалки, где и осуществлялась закалка интенсивным потоком воды через душирующее устройство, при этом струи воды направлялись перпендикулярно закаливаемой поверхности для обеспечения максимальной скорости охлаждения. Дли-

тельность охлаждения подбирали так, чтобы обеспечить температура самоотпуска 180-200 °С.

Все шестерни подвергали проверке на наличие закалочных трещин на магнитном дефектоскопе "Ernst Neubach" как непосредственно после закалки, так и по истечении суток – времени, необходимого для раскрытия трещин. Ни на одной из проверенных деталей трещин не обнаружили. Характер расположения закаленной зоны по сечению шестерен показан на рис.3.

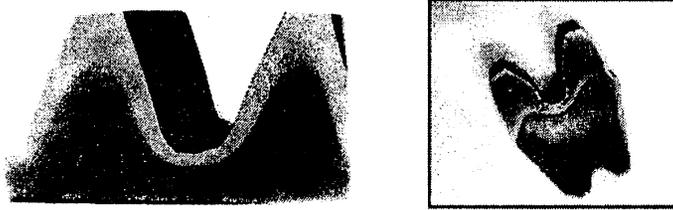


Рис.3. Расположение упрочненной зоны после объемно-поверхностной закалки в сечении зуба ведомой шестерни из стали У8А главной передачи заднего моста – а, и ведущей шестерни колесной передачи из стали 80ПП – б.

Металлографическими исследованиями установлено, что твердость и глубина закаленного слоя, а также твердость сердцевины зубьев и тела шестерен при ОПЗ выше, чем при цементации, распределение твердости от поверхности до основного металла не имеет резких перепадов (см. рис.4).

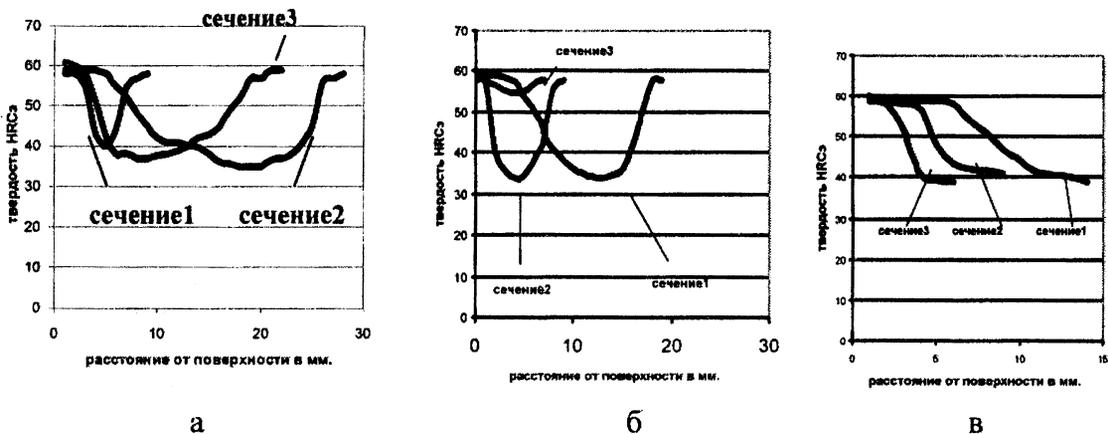


Рис.4. Распределение твердости по сечению зубчатых колес заднего моста автомобиля МАЗ 5551, упрочненных ОПЗ: а ведущая шестерня колесной передачи из стали 80ПП, б – сателлит колесной передачи из стали 60ПП, в - ведомая шестерня главной передачи из стали У8А

Структура закаленного слоя представляет собой мартенсит мелкоигльчатый. На рис. 4 показано распределение твердости от поверхности по глубине для ведущей шестерни и сателлита колесной передачи и ведомой шестерни главной передачи для сечений 1 – по оси зуба от вершины через тело шестерни до ее внутренней поверхности, 2 – от впадины, 3 - перпендикулярно оси зуба от одной его боковой поверхности до второй на расстоянии 1/3 от вершины. (Для ведомой шестерни главной передачи распределение твердости показано до значений, соответствующих сердцевине).

На рис.5 представлена микроструктура закаленного слоя шестерен из стали 80ПП по сечению на расстоянии 2,5 мм от вершины зуба – мартенсит с твердости 60HRC, на расстоянии 7,5 мм - троостомартенсит 54HRC, на расстоянии 9,5 мм – троостосорбит 42HRC , на расстоянии 16 мм - сорбит + прожилки феррита 36HRC.

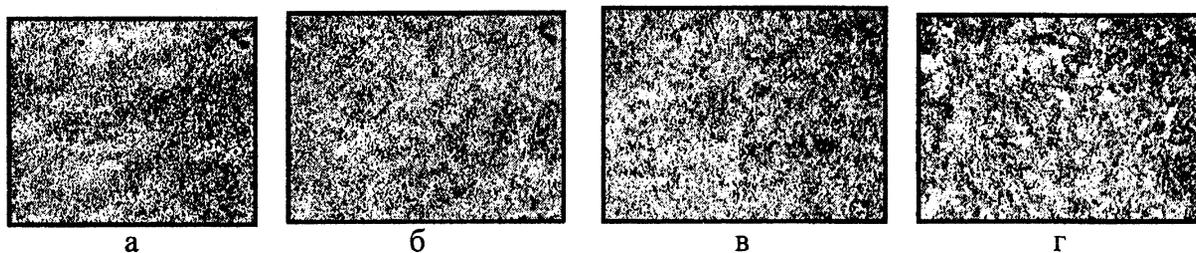


Рис.5 Микроструктура закаленного слоя в сечении зуба ведущей шестерни колесной передачи из стали 80ПП после объемно-поверхностной закалки на расстоянии от вершины зуба: а - 2,5 мм, б - 7,5 мм, в - 9,5 мм, г - 16 мм. X 500

Необходимо отметить, что для сталей 60 ПП и 80 ПП при закалке формируется более мелкая структура мартенсита по сравнению с У8А и 20ХН3А .

Рентгеноструктурным анализом закаленных слоев установлено, что на дифрактограмме стали 60ПП наблюдаются только отражения α -фазы, т.е. этот материал имеет чисто мартенситную структуру с периодом решетки $a_0=0,2856$ нм. Для стали У8А кроме отражения (110) α -фазы присутствует также ряд линий, принадлежащих карбидной фазе Fe_3C , что свидетельствует о наличии включений частиц карбидной фазы наряду с мартенситом. Период решетки матрицы стали У8, измеренный по угловому положению линии (110)CoK α , равен $a_0=0,2868$ нм.

Сравнительные испытания образцов, вырезанных из упрочненных шестерен, на износ в режиме сухого трения – скольжения на машине трения (трибометре) МТВП-9 в ИНДМАШ НАНБ показали, что износостойкость цементованной и закаленной стали 20ХН3А и сталей 60ПП, 80ПП после объемно-поверхностной закалки практически не отличается.

Испытания на статическую прочность при кручении проводили на специальном стенде, общий вид которого приведен на рис.6. Ведомая шестерня 2 при помощи штифтов 5 и болтов 4 крепится к неподвижной стойке 3. Ведущая шестерня 1 устанавливается вместе с подшипниками в стакан подшипников 7. Стакан подшипников болтами 6 крепится к стойке 3. Далее установка вместе с шестернями монтировали на плиту стенда и карданным валом соединяли с планетарным редуктором.

Крутящий момент измеряли датчиком крутящего момента TG-1000/В. Угол закручивания измеряли потенциометрическим датчиком, установленным на выходном валу планетарного редуктора. В качестве измерительных приборов использовали усилители KWS 501.D с цифровой индикацией. Перед испытаниями каждая из пар шестерен обжимались три раза крутящим моментом 10 кН. м с целью выборки существовавших зазоров с последующей разгрузкой до нуля. Основной целью испытаний является предварительная оценка применения стали регламентированной прокаливаемости для изготовления сложнопрофильных шестерен ведущих мостов

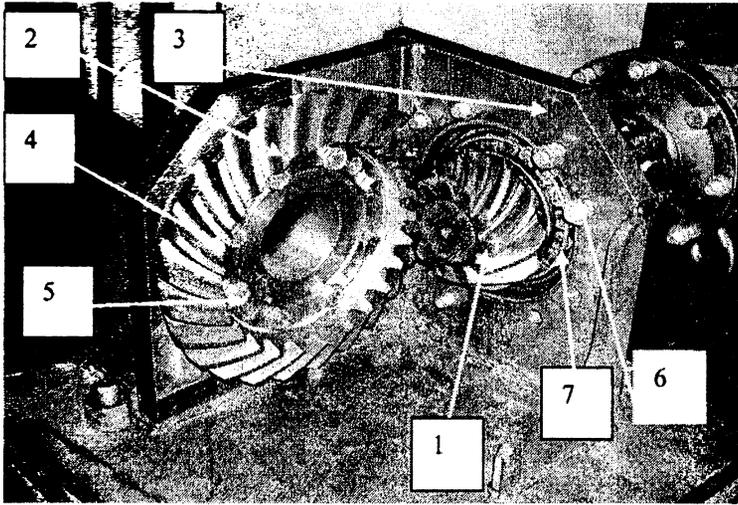


Рис.6 Общий вид установки для определения статической прочности главной пары:

- 1-ведущая шестерня,
- 2-ведомая шестерня,
- 3-стойка, 4-болты крепления ведомой шестерни,
- 5-штифты, 6-болты крепления стакана подшипников,
- 7- стакан подшипников.

Испытаниям подвергали зубчатые колеса главной пары заднего моста автомобиля МАЗ-5551: шестерню ведомую 5551-2402060 –2шт. из стали У8, упрочненные по объемно-поверхностной закалке и из стали 20ХН3А упрочненные по серийной технологии. Ведущая шестерня во всех случаях была изготовлена по серийной технологии из стали 20ХН3А.

На рис.7 представлена шестерня 5551-2402060 из стали У8А после испытаний, а на рис.8 - зависимость угла закручивания от величины нагружающего крутящего момента этой шестерни.

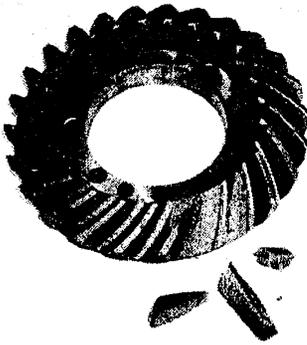


Рис.7. Шестерня 5551-2402060 из стали У8А после испытаний

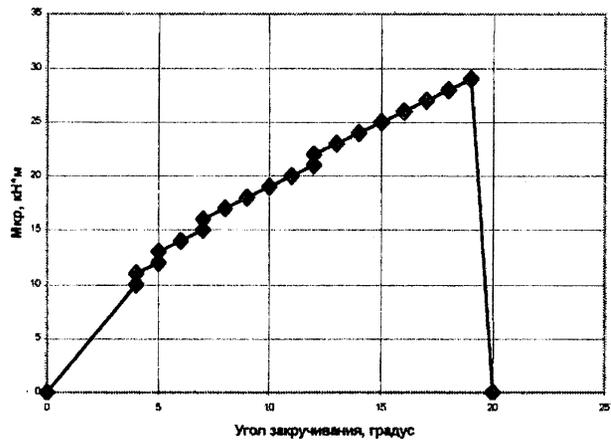


Рис.8. Зависимость угла закручивания от величины нагружающего крутящего момента

Стендовые испытания опытных шестерен из стали У8А и серийных из стали 20ХН3А на статическую прочность при кручении показали следующие результаты: величина крутящего момента, при которой происходит разрушение, у серийных шестерен составила 26,0-29,0 кНм, у опытных шестерен составила 29,0 – 29,3 кНм. Таким образом по статической прочности опытные шестерни из стали У8А не уступают серийным из 20ХН3А.

Испытания на статическую прочность шестерен колесной передачи проводили на разрывной машине модели ZDM – 100 усилием 100 т. Для испытаний были выбраны по два сателлита 5336-2405035 из стали 60ПП, упрочненных объемно-поверхностной закалкой, и стали 20ХН3А, упрочненных цементацией и последующей термообработкой.

кой. Схема испытаний предоставлена на рис.9. Испытуемую шестерню устанавливали в приспособление на два зуба. Статическую нагрузку прикладывали сверху до момента разрушения зубьев и фиксировали на приборе машины.

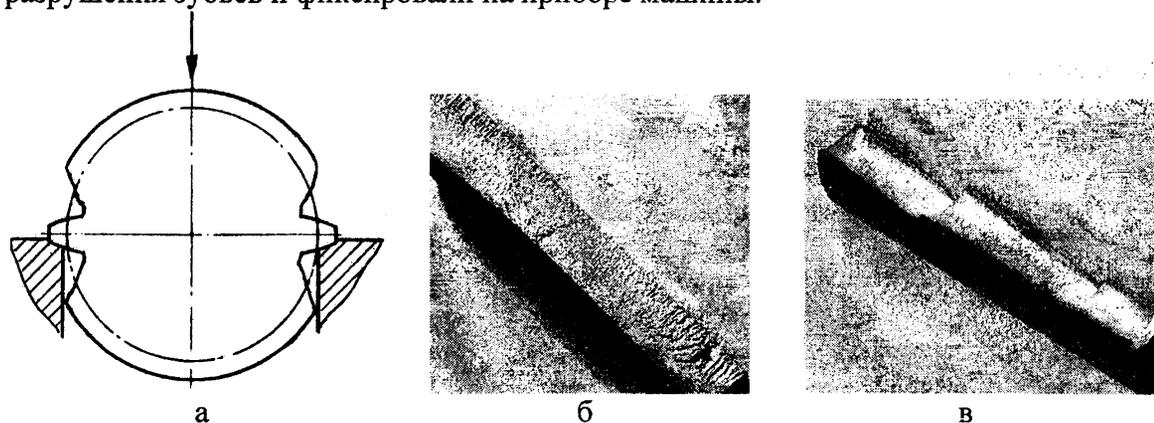


Рис. 9. Схема нагружения шестерен колесной передачи при испытаниях на статическую прочность – а, и вид изломанных зубьев из сталей б - 60ПП, в - 20ХН3А

Результаты испытаний свидетельствуют: для стали 60ПП разрушение наступает при нагрузке 410 – 480 кН, для стали 20ХН3А – 400 – 440 кН.

В ЦЗЛ УГМет МАЗ выполнили испытания вырезанных из сателлитов колесной передачи 5440-2504035 зубьев на ударный изгиб образцов на маятниковом копре КМ – 30 с максимальной энергией удара 300 Дж. Испытания проводили при температурах +20°С, -20°С, -75°С. При этом установлено: при всех температурах зубья сателлитов из стали 60ПП, упрочненных ОПЗ, разрушаются при нагрузках на 15 – 20 % больших, чем зубья из 20ХН3А после химико-термической обработки.

Таким образом, по результатам испытаний на статическую прочность можно сделать вывод, что шестерни из сталей У8А и 60ПП не только не уступают серийным из стали 20ХН3А, но и несколько их превосходят.

Эксплуатационные испытания опытных мостов.

Для проведения предварительных динамических испытаний шестерен из стали У8А был собран редуктор заднего моста 5551-2402010-20 в комплектации: шестерня ведомая 5551-2402060 – из стали У8А, шестерня ведущая 5551-2402017 из стали 20ХН3А и установлен на автомобиль МАЗ –5551. Автомобиль загружен массой 11500 кг. Проведены резкие трогания с места броском сцепления на уклоне до 7% передним и задним ходом до 30 троганий. После проведенных испытаний редуктор сохранил работоспособное состояние.

Положительные результаты проведенных статических и динамических испытаний позволили приступить к проведению дорожных испытаний. В 2001 года собраны два моста 5551-2400010-20, содержащих ведомую шестерню главной пары из стали У8А, ведущую шестерню главной передачи из стали из стали 20ХН3А, ведущую шестерню и сателлиты колесной передачи из стали 60ПП, упрочненные объемно-поверхностной закалкой, ведомые шестерни колесной передачи из стали 40Х, упрочненные контурной закалкой с нагревом ТВЧ. Собранные мосты были установлены на самосвалы 5551 и в ноябре 2001 года переданы на дорожные испытания в карьер ГАП-7 г.п. Красноселье, Волковыского района РБ. В настоящее время пробег автомобилей с опытными мостами превышает 80 тыс. км, они находятся в работоспособном состоянии и их эксплуатация продолжается. В 2002 году подготовлены к установке на автомобили комплекты шестерен, упрочненных объемно-поверхностной закалкой из сталей У8А, 60ПП, 80ПП для 100 мостов автомобилей. Одновременно проводятся работы по созданию производственного участка для упрочнения методом объемно-поверхностной за-

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-