

$$r = \sqrt{R^4 - \frac{8Jx}{\left(\frac{\pi d}{180^\circ} + \sin \alpha\right) \cdot n}}$$

но учитывая (1), получаем

$$r = \sqrt{R^4 - \frac{8 \cdot 1.77 \cdot Q \cdot l^3}{\left(\frac{\pi \alpha}{180^\circ} + \sin \alpha\right) \cdot n \cdot 3 \cdot E \cdot V}}$$

Принимая значение Q из паспортных данных оборудования, определяем радиус внутреннего отверстия оправки. Если он приемлем конструктивно – заканчиваем расчет. В противном случае проводим повторный расчет, изменяя значение Q . В дальнейшем при проектировании оправок на аналогичные детали можно применять способ проектирования по аналогам без проведения расчетов на жесткость.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ануриев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя.-М.: Машиностроение, 1979.-Т1.- 728с. 2. Антонюк В.Е., Королев В.А., Башеев С.М. Справочник конструктора по расчету и проектированию станочных приспособлений. -Мн.: Беларусь, 1969.-392с.

УДК 669.621.785

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

ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСПЫТАНИЯ ШЕСТЕРЕН АВТОМОБИЛЕЙ МАЗ ИЗ СТАЛЕЙ ПОНИЖЕННОЙ ПРОКАЛИВАЕМОСТИ

РУП «Минский автомобильный завод»

Минск, Беларусь

Традиционно ответственные шестерни автомобилей изготавливают из сталей 20ХНЗА и упрочняют цементацией и последующей закалкой. В связи с большой длительностью этой технологии, высокими энергозатратами, сложностью и большой стоимостью оборудования, высокой стоимостью применяемой стали, на Минском автозаводе проводятся работы по исследованию и испытаниям шестерен заднего моста, упрочненных поверхностной и объемно-поверхностной закалкой при индукционном нагреве.

Технология поверхностной закалки шестерен с поверхностного индукционного нагрева, созданная на МАЗе, с 1994 года используется на минских автозаводе и заводе колесных тягачей для упрочнения ведомых шестерен колесной передачи [1 - 4]. По

этому методу упрочнены так же опытные партии шестерен главной передачи ведущего моста самосвала МАЗ-5551, изготовленные из сталей 40Х и 40ХН, и на стадии поковок объемно упрочненные закалкой и отпуском на твердость 28 – 30 HRC. Верхнее значение твердости сердцевин ограничено возможностями зуборежущего инструмента. Поверхностной закалкой обеспечены твердость и толщина закаленного слоя по контуру зуба (рис. 1,а.), равнозначные получаемым при цементации, а величина деформаций уменьшена в несколько раз. Однако при сравнительных испытаниях зубья опытных шестерен отламывались у корня при нагрузках, не приводящих к разрушению серийных шестерен. Это свидетельствует о недостаточной прочности сердцевины, упрочненной на твердость 26 – 30 HRC. Повышение прочности сердцевины зуба путем увеличения ее твердости после предварительной термообработки заготовок, является малоперспективным из-за резкого увеличения трудоемкости и стоимости механической обработки шестерен в этом случае.

С целью повышения изгибной прочности зубьев шестерен главной передачи на Минском автозаводе проведены работы по исследованию опытных партий этих шестерен из сталей пониженной прокаливаемости. Учитывая, что специально разработанные для объемно-поверхностной закалки стали регламентированной и пониженной прокаливаемости относятся к углеродистым сталям и отличаются пониженным содержанием легирующих элементов и примесей, для опытной партии шестерен МАЗ применили сталь У8А, наиболее близкую по химическому составу к специальным сталям 60ПП и 80ПП и широко применяемую в машиностроении для изготовления инструмента. Одновременно были изготовлены опытные партии ведущих шестерен и сателлитов колесной передачи из сталей 60ПП и 80ПП. Стоимость этих сталей более чем в 2 раза ниже стоимости цементуемых, а дешевизна закалки по методу ОПЗ по сравнению с цементацией не подлежит сомнению. Химический состав плавок сталей, отобранных для изготовления опытных партий, приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав стали для изготовления опытных партий шестерен заднего моста автомобиля МАЗ-5551

	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

Для упрочнения ведомых шестерен главной пары, ведущих шестерен и сателлитов колесной передачи ведущего моста автомобиля на МАЗе совместно со специалистами ЗАО "Техмаш" (г. Москва) спроектировали и изготовили специальное закалочное приспособление. Для подачи охлаждающей воды в нем использовали насос про-

изводительностью 260 м³/ч с рабочим давлением 4 атм. Контроль температуры в процессе нагрева и охлаждения осуществляли при помощи зачеканенной в тело шестерен хромель-алюмелевой термопары с записью температурных кривых на модернизированном приборе КСП4.



Рис. 1. Расположение закаленного слоя в сечении зуба ведомой шестерни главной передачи ведущего моста автомобиля МАЗ: а – контурная закалка при нагреве под слоем воды, сталь 40ХН; б – объемно-поверхностная закалка, сталь У8.

Шестерни нагревали в индукторе от генератора частотой 8000 Гц по программе, обеспечивающей скорость нагрева 3 – 5 °С/с и равномерность нагрева по периметру. Температура нагрева составляла 780 – 820 °С. По окончании нагрева шестерню переносили в течение 1 – 2 с. в приспособление для закалки, где и осуществляли закалку интенсивным потоком воды. Воду подавали через душирующее устройство перпендикулярно закаливаемой поверхности для обеспечения максимальной скорости охлаждения. Время охлаждения подбирали экспериментально, чтобы обеспечить температуру самоотпуска 180 – 200°С.

Все шестерни подвергались проверке на наличие закалочных трещин на магнитном дефектоскопе как непосредственно после закалки, так и по истечении суток. Ни на одной из проверенных деталей трещин не обнаружено.

Расположение закаленного слоя в сечении упрочняемой шестерни показано на рис. 1б. Металлографическими исследованиями установлено, что твердость на поверхности шестерен составляет 59 – 61 HRC, в сердцевине зуба – 40 – 45 HRC, в центре тела шестерни – 35 – 40 HRC. Эти значения близки к параметрам цементованных деталей из стали 20ХН3А. При этом распределение твердости от поверхности до основного металла не имеет резких перепадов, а твердость основного металла выше, чем при цементации. Структура закаленного слоя представляет собой мартенсит мелкоигольчатый и по размеру зерна более мелкая, чем при цементации. Для стали 60ПШ структура закаленного поверхностного слоя представляет собой мелкоигольчатый мартенсит 3 балла, переходящий в троостит. Ближе к сердцевине шестерни в структуре наблюдается сорбит с прожилками феррита. Таким образом, материал зуба шестерни имеет достаточно мелкозернистую мартенситную структуру высокой твердости

с достаточно твердой и вязкой сердцевиной. Для стали У8 в структуре закаленного слоя наблюдается среднегольчатый мартенсит 5 балла, переходящий (по мере приближения к сердцевине) в троостомартенсит. Структура сердцевины – троостит.

Проведение испытаний

Испытания на износ проводили в Институте надежности и долговечности машин (ИНДМаш НАНБ) на установке МТВП-9 в режиме сухого трения-скольжения при возвратно-поступательном движении на плоских образцах размером 5x5x10 мм, вырезанных из закаленных деталей. Контролем при испытаниях служили пластины из стали У8, закаленные на твердость 60 HRC. Удельное давление при испытаниях составляло 5 МПа, средняя скорость перемещения 0,06 м/сек. В качестве критерия износа принимали уменьшение веса образцов. График зависимости величины весового износа от пути трения (числа циклов испытаний) представлен на рис. 2.

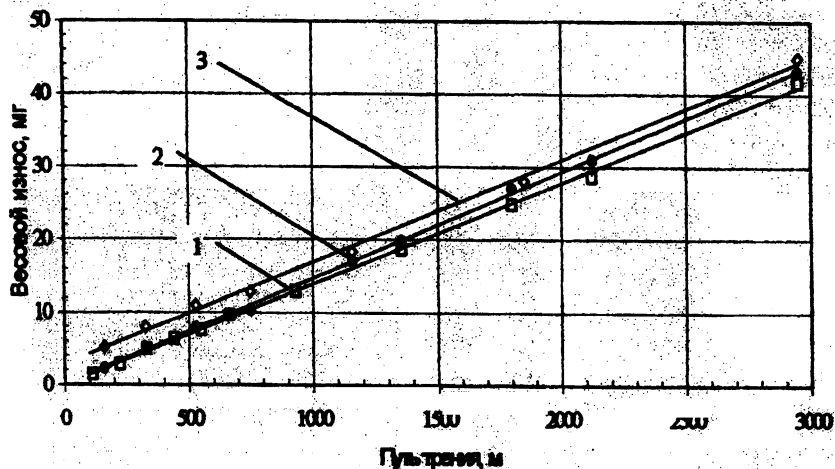


Рис.2. Зависимость весового износа от пути трения 1 – сталь У8; 2 – сталь 20ХНЗА (цементация + объемная закалка); 3 – сталь 60ПП, объемно-поверхностная закалка

На начальной стадии испытаний (стадии приработки от 0 до ~100 м пробега) зависимость износа от пути пробега имеет нелинейный характер. Затем, на стадии установившегося износа, эта зависимость приобретает практически линейный характер. На графике приведены данные стадии установившегося износа сравнительных испытаний для образцов из сталей У8 и 60ПП, упрочненных объемно-поверхностной закалкой, и образцов стали 20ХНЗА, обработанных по стандартной технологии (цементация + объемная закалка).

Из приведенных данных видно, что износостойкость сталей У8 и 60ПП, упрочненных объемно-поверхностной закалкой и стали 20ХНЗА после химико-термической обработки практически одинакова. При этом относительный износ стали У8 наименьший.

Испытания на статическую прочность шестерен главной передачи при кручении проводили на специальном стенде в испытательном центре МАЗ с замкнутым силовым контуром. В процессе испытаний измеряли крутящий момент и угол закручивания.

В качестве измерительных приборов использовали усилители с цифровой индикацией. Перед испытаниями каждая из пар шестерен обжимались три раза крутящим моментом 10 кНм с целью выборки существовавших зазоров с последующей разгрузкой до нуля. Основной целью испытаний ставилась предварительная оценка стали У8 в качестве материала для изготовления шестерен ведущих мостов в сравнении с серийными шестернями.

Сравнительными испытаниями шестерен из стали У8 и серийных шестерен из стали 20ХНЗА установлено, что величина крутящего момента, при которой происходит разрушение, у серийных шестерен составила от 26,0 до 29,0 кНм, а обе опытные шестерни разрушились при нагружении моментом 29 кНм. Таким образом по статической прочности шестерни из стали У8, упрочненные объемно-поверхностной закалкой не уступают серийным из стали 20ХНЗА.

Испытания на статическую прочность шестерен колесной передачи проводили на разрывной машине усилием 100 Тс модели ZDM – 100. Для испытаний были выбраны по два сателлита из стали 60ПП и стали 20ХНЗА. Испытуемая шестерня устанавливалась в призму на два диаметрально противоположных зуба, расположенных на горизонтальной оси шестерни. Статическая нагрузка прикладывалась в вертикальном направлении до момента разрушения зубьев и фиксировалась на приборе машины.

Испытаниями установлено, что для опытных шестерен из стали 60ПП усилие разрушения составляет 165 – 192 кН, а для серийных из стали 20ХНЗА – 164 – 176 кН. Таким образом, по статической прочности шестерни из стали 60ПП, упрочненные объемно-поверхностной закалкой, превосходят цементованные из стали 20ХНЗА.

Дорожные испытания опытных мостов

Проведение предварительных динамических испытаний шестерен из стали У8 были выполнены в отделе дорожных испытаний испытательного центра УГК МАЗ на редукторах заднего моста лесовозного автомобиля 5551-2402010-20 в комплектации: шестерня ведомая 5551-2402060 – из стали У8, шестерня ведущая 5551-2402017 – из стали 20ХНЗА. Автомобиль нагруженный массой 11500 кг подвергали резкому тро-

ганию с места броском сцепления на уклоне до 10% передним и задним ходом и движению по ухабам и уклонам с резким изменением скорости и направления движения.

Положительные результаты проведенных статических и динамических испытаний позволили приступить к проведению дорожных испытаний. В 2001 году собрано два моста 5551-2400010-20 в следующем исполнении: ведомая шестерня главной пары изготовлена из стали У8 и упрочнена объемно-поверхностной закалкой, ведущая шестерня главной пары серийная – из стали 20ХНЗА. В колесной передаче ведомые шестерни изготовлены из стали 40Х и упрочнены контурной закалкой при индукционном нагреве по действующей на МАЗе технологии, Ведущие шестерни и сателлиты колесной передачи одной из сторон каждого моста выполнены серийными из стали 20ХНЗА, а на второй стороне моста установлены ведущие шестерни из стали 60ПП и сателлиты из стали 80ПП, упрочненные объемно-поверхностной закалкой по описанному выше методу. Собранные мосты переданы на дорожные испытания в карьере пос. Красноселье Минской области. Только за месяц наработка опытных мостов составляла 10 тыс. км. Мосты находятся в работоспособном состоянии.

Выводы

Применение сталей пониженной прокаливаемости и упрочнения методом объемно-поверхностной закалки с обеспечением твердости на поверхности зубьев HRC 59 – 61, в сердцевине зубьев – HRC 40 – 45 и в теле венца шестерен – HRC 35 – 40 – при изготовлении тяжелонагруженных шестерен автомобилей МАЗ позволяет обеспечить прочность и надежность, не уступающую традиционным шестерням из сталей 20ХНЗА. При этом стоимость применяемой стали снижается вдвое, затраты электроэнергии – в 7 – 15 раз, длительность цикла упрочнения сокращается от 25 – 30 часов до 3 – 5 минут, термические деформации – в 2 – 3 раза. Отпадает необходимость использования закалочного масла, природного газа, жапропрочных и жароупорных материалов. Устраняются вредные выбросы в окружающую среду.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гурченко П.С. Упрочнение при индукционном нагреве и управляемом охлаждении. - Гомель: ИММС НАНБ, 1999.-236 с.
2. Гурченко П.С. Поверхностное термоупрочнение зубчатых колес с применением индукционного нагрева// Весті нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук.- 1999.- №2.- С.65 – 74.
3. Ракомсин А.П., Гурченко П.С. Бездеформационное упрочнение зубчатых колес индукционной закалкой под слоем воды// Грузовик &. - 2000.- №3.- С. 20 – 24.
4. Ракомсин А.П., Гаухштейн И.С., Гурченко П.С. Закалка зубчатых колес при индукционном нагреве. // Грузовик &. - 2002.- №1.- С. 25 – 33.