

## ИССЛЕДОВАНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ХТО ШЕСТЕРЕН ВЕДУЩИХ МОСТОВ АВТОТЕХНИКИ МАЗ

*П.С. Гурченко, А.Д. Волков*  
*Минский автомобильный завод*

В 2005 году имели место случаи преждевременного выхода из строя шестерен главной пары редуктора отдельных ведущих мостов автотехники МАЗ, в связи с чем проведены исследования этих редукторов в процессе их разборки и исследования материала шестерен и качества их упрочнения. В процессе исследований были выдвинуты и подвергнуты проверке следующие предполагаемые причины преждевременного выхода из строя главной пары: нарушения технологии изготовления и сборки редукторов, металлургические дефекты проката, нарушения технологии химико-термической обработки, несоответствие применяемого смазочного масла условиям работы гипоидной передачи. В процессе осмотра и разборки редукторов установлено, что механических повреждений корпусных деталей, шестерен, подшипников, крепежных изделий не выявлено, повышенных зазоров, люфтов и повреждений подшипников не обнаружено, отклонений по геометрии корпусных деталей не установлено, шестерни имеют повышенный боковой зазор (от 0,3 до 3,5 мм) из-за износа боковых поверхностей зубьев. Поступившие на исследования в УЛИР шестерни редукторов имеют сильный износ рабочих поверхностей зубьев до полного их среза на высоте примерно 2/3 от вершины зуба.

В процессе входного контроля проката для изготовления шестерен, а также при исследовании шестерен перед их термической обработкой никаких металлургических дефектов на поверхности и в сечении не выявлено.

Характерный вид катастрофического износа ведущей шестерни показан на рис. 1 и 2. Износ зубьев имеет неравномерный характер: наибольший на вершине зубьев со стороны наружного диаметра (большого модуля) и уменьшается к внутреннему диаметру (малому модулю), что видно на рис. 1. На рис. 1, в, г видно, что на торце зуба со стороны большого модуля износ имеет вид ступеньки, ширина которой плавно уменьшается по мере приближения к малому модулю, и на внутреннем торце ступенька исчезает и изношен-

ный зуб имеет форму клина (рис. 1, б). На шестернях где поверхность вершины изношенного зуба сохранилась, она также имеет вид клина (рис. 1, в, г). Неравномерный износ по длине зубьев свидетельствует о смещении пятна контакта при эксплуатационных нагрузках на вершину зубьев и в сторону наружного диаметра. Такой характер износа зубьев в исследованиях «Поломки и износ шестерен» в журнале «Металловедческая лаборатория» С. 163–168 классифицируется как «Износ с искажением эвольвентного профиля по высоте зуба и появление на боковой поверхности профиля плоского или вогнутого участка (седла)». Причиной такого износа указывается нарушение условий зацепления, одним из видов которого может быть «развертка зацепления» из-за осевого смещения ведущей шестерни, например, из-за деформации или неправильного выбора подшипников (малый угол конусов) или других причин нарушения геометрии зацепления.

Смазка в десятки раз снижает сопротивление трению и в тысячи раз снижает износ зубчатых пар (В.С. Сагарадзе «Повышение надежности цементуемых деталей» М. Машиностроение, 1975, С. 11). Для гипоидных передач правильный выбор смазки имеет особенно важное значение, поэтому для них рекомендовано применение специальных масел, содержащих специальные противозадирные присадки (сера, фосфор, хлор) (Яскевич, «Ведущие мосты», Перевод с польского, М. Машиностроение, 1985, С. 23). Масло из рекламационных редукторов подано на исследование в 4 случаях и во всех случаях по кинематической вязкости при 100 °С масло не соответствовало марке ТМ 5-18 (факт — 9,901 мм<sup>2</sup>/с, должно быть 13,5–15,5 мм<sup>2</sup>/с). Несоответствие масла предусмотренной марке несомненно способствовало ускоренному износу шестерен главной передачи.

Толщину цементованного слоя и твердость цементованной поверхности по методу Роквелла измеряли на торцах зубьев со стороны большого модуля, которые механической обработке и износу не подвергались, а также на вершине зуба. На

рис. 1, б видно, что на впадине зуба также имеется цементованный слой, толщина которого составляет 1,2 – 1,5 мм, что соответствует условиям чертежа. На рабочих поверхностях зубьев цементованный слой полностью изношен. По твердости сердцевины отклонений не выявлено.

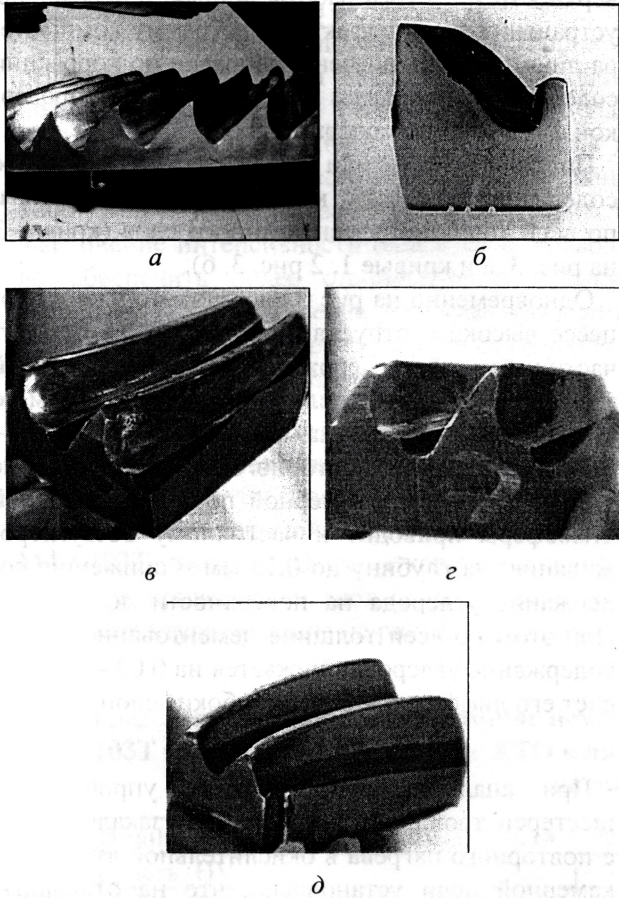
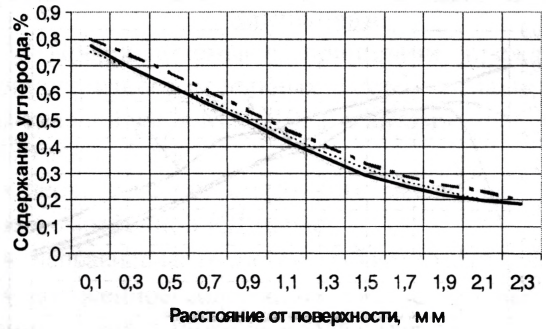


Рис.1. Вид износа ведомой шестерни троллейбуса МАЗ 103Т: а — общий вид, б — сечение изношенного зуба, в, г — вид вершины зуба и торца со стороны большого модуля, торец со стороны большого модуля, д — торец со стороны малого модуля

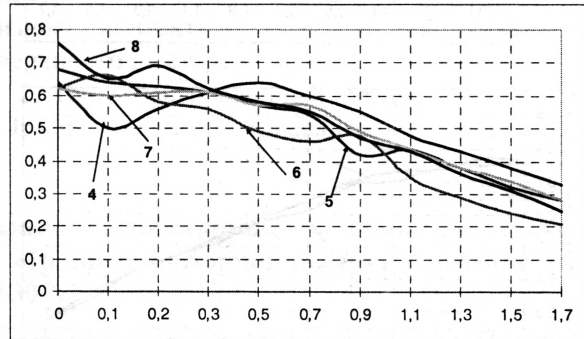
Исследованиями шестерен, проходящих ХТО в термическом цехе, установлено, что в большинстве случаев толщина цементованного слоя и твердость соответствуют заданным чертежом, однако находятся на нижнем пределе, что вызвано стремлением уменьшить термические деформации в процессе упрочнения. Можно утверждать, что снижение твердости на 2-3 HRC или толщины цементованного слоя на 0,3 – 0,4 мм не является главной причиной катастрофического износа шестерен, однако снижение твердости безусловно способствует снижению ресурса работы шестерен.

С целью повышения ресурса работы шестерен главной пары ведущих мостов выполнены иссле-

дования по установлению и устранению причин заниженной твердости шестерен после ХТО. В качестве причин заниженной твердости были предположены и исследованы 5 факторов: 1) заниженная концентрация углерода в цементационном слое, 2) завышенная или заниженная температура закалки, 3) завышенная температура отпуска, 4) недостаточное охлаждение при закалке, 5) образование обезуглероженного слоя при нагреве под закалку.



а



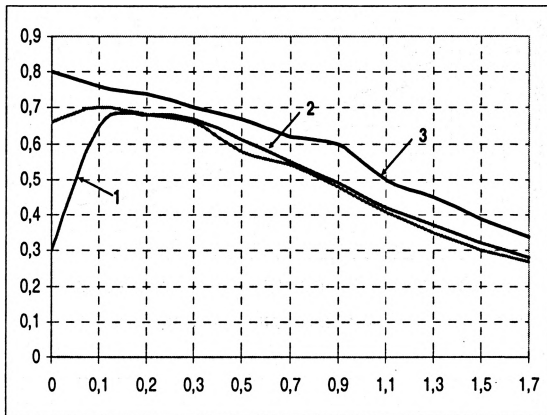
б

Рис. 2. Распределение углерода по толщине цементованного слоя для шестерен после химико-термической обработки в агрегате: а — распределение углерода на момент отладки линии «Ipsen», — · — заданный программой агрегата, ..... химический метод определения после ХТО, — спектральный метод определения, б — распределение углерода на образцах-свидетелях до коррекции программы режимов

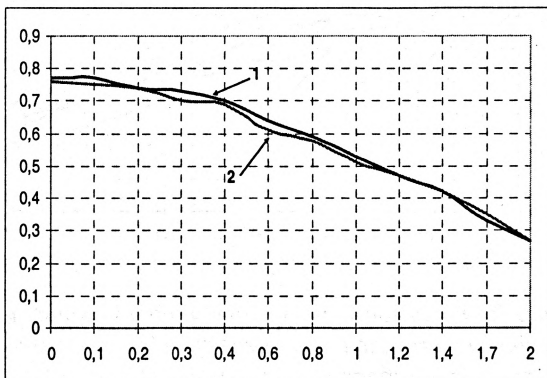
### Распределение углерода по толщине цементованного слоя

Программой линии «Ipsen» предусмотрено задаваемое содержание углерода по толщине диффузионного слоя: оптимальное - 0,8% на поверхности детали и 0,4% на границе глубины слоя (1,2 – 1,5 мм). Задаваемое оптимальное распределение углерода по цементованному слою показано на рис. 3, а. В дальнейшем компьютер сам рассчитывает время выдержки, углеродный потенциал в печи и температурные параметры по ходу процесса.

Во время запуска и отладки линии «Irsen» в лабораторных условиях проверялось соответствие задаваемой компьютером программы и фактических результатов ХТО. Исследовали распределение углерода двумя методами: послойным отбором стружки с ее анализом на анализаторе АН7529, а также спектральным на спектрометре DV-6. Оба метода подтвердили соответствие распределения углерода на поверхности задаваемой программе, что видно на рис. 3, а.



а



б

Рис. 3. Распределение углерода по толщине цементованного слоя для шестерен после химико-термической обработки в агрегате «Irsen» после коррекции режимов: а — ведомая шестерня сталь 20Х2Н4А, 1 — после полного цикла обработки (Ц + отпуск 650°C + закалка 830 °С), 2 — Ц + отпуск 650°C, 3 — Ц, б — образцы свидетели после цементации, 1 — 20Х2Н4А, 2 — 20ХН3А

Исследованием фактического распределения углерода на образцах из стали 20ХН3А, 20Х2Н4А и плоских поверхностях шестерен главной пары автомобилей МАЗ-4370 и троллейбусов МАЗ-103Т по толщине цементованного слоя установлено, что по действующему технологическому процессу распределение углерода не соответствует задаваемому компьютером линии «Irsen». Фактическое

содержание углерода по всему слою занижено (кривые 4 - 8 рис. 2, б), а на поверхности образуется обезуглероженный слой толщиной 0,05 - 0,1 мм с содержанием углерода 0,30 - 0,35%. Снижение содержания углерода по всему слою является причиной снижения твердости обрабатываемой поверхности и ресурса работы деталей в целом. Для устранения этого дефекта в программу компьютера линии «Irsen» внесены поправки по коррекции содержания углерода с последующей перепроверкой фактического содержания.

Поправки позволили обеспечить оптимальное содержание углерода, как на поверхности, так и по всей толщине цементованного слоя (кривая 3 на рис. 3, а и кривые 1, 2 рис. 3, б).

Одновременно на рис 3,а видно, что уже в процессе высокого отпуска при 650°C происходит частичное обезуглероживание поверхностной зоны цементованного слоя на глубину 0,1 мм со снижением углерода на поверхности до 0,60 - 0,70 %. Закалка с повторного нагрева в течение 1 часа до 830°C в камерной печи без защитной атмосферы приводит к частичному обезуглероживанию на глубину до 0,15 мм и снижению содержания углерода на поверхности до 0,3 %. При этом по всей толщине цементованного слоя содержание углерода снижается на 0,03 - 0,1% за счет его диффузии в более глубокие слои.

#### Нагрев под закалку

При анализе микроструктуры упрочненных шестерен троллейбуса МАЗ-103Т, закаливаемых с повторного нагрева в окислительной атмосфере камерной печи установлено, что на отдельных шестернях в зоне частично обезуглероженного слоя проявляется трооститная кайма, в результате чего цементованная поверхность пилится напильником. При последующей более глубокой зачистке цементованный слой имеет твердость 58-59HRC. Для уменьшения обезуглероживания в процессе коррекции режимов принято решение о загрузке в печь только по 1 шестерне, а не партиями по 5 шт., как это делали ранее. При загрузке по 5 шт. первая шестерня до закалки в масло находилась в печи 1 ч 20 мин, а пятая — 2 часа и более. Одновременно длительность нагрева сократили с 1 часа 20 мин до 1 часа. Изменение режимов нагрева позволило уменьшить обезуглероживание цементованного слоя на поверхности и устранить поверхностное снижение твердости.

В дальнейшем для предотвращения образования обезуглероженного слоя в процессе повтор-

ного нагрева под закалку на РУП «МАЗ» разработаны мероприятия по применению индукционного нагрева ТВЧ под закалку в штампах ведомых шестерен троллейбуса 103Т. Для этого созданы нагревательные устройства и разработаны режимы индукционного нагрева.

#### Закалочное охлаждение

Для повышения твердости при ХТО принято решение об увеличении интенсивности закалочного охлаждения. Для этого установлен наибольший достижимый прессом расход масла на закалку 2500 л/мин вместо используемого ранее 1000л/мин. Убраны все задержки в подаче масла. Увеличение интенсивности охлаждения позволило обеспечить более стабильную и высокую твердость. После изменения режимов охлаждения на поверхности шестерен троллейбуса МАЗ-103Т стабильно обеспечивается твердость  $HRC \geq 60$ .

#### Структура и распределение твердости на шестернях после ХТО

Распределение твердости по глубине цементованного слоя ведомой шестерни троллейбуса МАЗ-103Т после ХТО по откорректированным режимам приведено в табл.1, места замеров и микроструктура показана на рис. 4.

Микроструктура цементованного слоя — мартенсит мелкоигльчатый + незначительное количество аустенита остаточного. Твердость цементованной поверхности — 60-61 HRC. Толщина цементованного слоя — 1,3 мм.

Таким образом, в результате корректировки режимов ХТО достигнута стабильная твердость на поверхности, оптимальная структура и распределение твердости по толщине цементованного слоя и в сердцевине шестерен.

#### Заключение

1. Предполагаемыми причинами преждевременного износа отдельных шестерен главной пары троллейбусов МАЗ-103Т и автомобилей МАЗ-4370 могут быть:

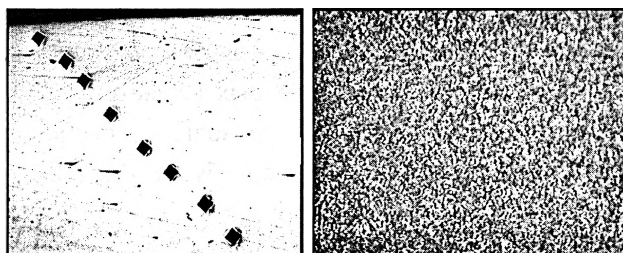
- несоответствие смазочного масла редуктора предусмотренной КД марке;
- неправильная геометрия зубчатого зацепления;
- заниженное содержание углерода в цементованном слое и нижний предел твердости поверхности могли способствовать преждевременному износу контактных поверхностей зубчатой поверхности шестерен.

2. Откорректированный режим ХТО в линии «Ipsen» и повторная закалка в штампе при со-

Таблица 1

Распределение твердости по толщине цементованного слоя ведомой шестерни троллейбуса МАЗ-103Т из стали 20Х2Н4А после ХТО в линии «Ipsen» и повторной закалки в штампе после нагрева 830 °С

Расстояние от поверхности, мм	0,14	0,32	0,48	0,76	0,98	1,15	1,29	1,50
Твердость, HV	701	701	689	666	648	623	593	516
Твердость, HRC	60	60	59	58	57	56	54	50



а ×65

б ×500

Рис. 4. Места измерения твердости и микроструктура упроченного слоя ведомой шестерни троллейбуса МАЗ-103Т из стали 20Х2Н4А после ХТО в линии «Ipsen» и повторной закалки в штампе после нагрева 830 °С

блюдении технологической дисциплины обеспечивает оптимальные структуру, распределение твердости в цементованном слое и толщину слоя. Для гарантированного обеспечения стабильного качества ХТО шестерен главной пары мостов рекомендовано выполнять 1 раз в неделю и после каждой остановки цементационных печей «ТQFR» или эндогенератора на линию ХТО «Ipsen» контроль в УЛИР распределения углерода в цементованном слое с последующей корректировкой углеродного потенциала в программе и освоить безокислительный нагрев ТВЧ шестерен под закалку в штампе.