

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС И АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ УПРАВЛЯЕМОЙ ОБЪЁМНО-ПОВЕРХНОСТНОЙ ЗАКАЛКИ ШЕСТЕРЕН ВЕДУЩИХ МОСТОВ АВТОМОБИЛЕЙ ИЗ СТАЛЕЙ ПОНИЖЕННОЙ ПРОКАЛИВАЕМОСТИ

Гуринович В.А., Гурченко П.С., Михлюк А.И., Ракомсин А.П.  
Минский автомобильный завод

Планетарная колесная передача транспортного средства (рис. 1) является одним из важнейших узлов ведущего моста и предназначена для передачи крутящего момента от двигателя на ведущие колеса и имеет в своем составе зубчатые колеса или детали, имеющие зубчатые поверхности: 1 — ведущая шестерня, 2 — сателлит (в зависимости от конструкции количество сателлитов 4 или 5), 3 — ведомая шестерня, 4 — ступица. Условия работы колесной передачи предполагают постоянное статическое зацепление ведомой шестерни со ступицей, вращение и передачу крутящего момента от ведущей шестерни на сателлиты и ведомую шестерню.

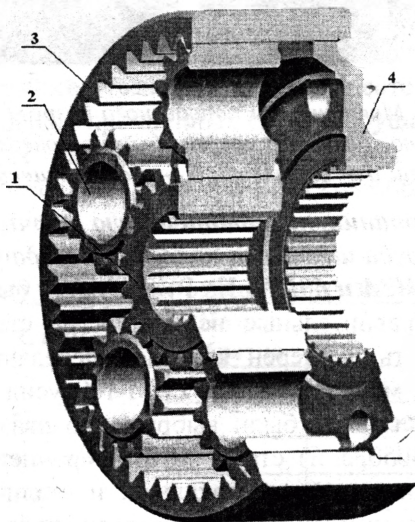


Рис. 1. Планетарная колесная передача автомобиля МАЗ. 1 — ведущая шестерня; 2 — сателлит; 3 — ведомая шестерня; 4 — ступица

По условиям работы планетарной передачи ведущая шестерня 1 и сателлиты 2 являются самыми нагруженными элементами и для обеспечения надежности их изготавливают, как правило, из

стали 20ХН3А подвергают химико-термической обработке — цементации, что обеспечивает упрочненный слой по всему контуру детали.

По разработанной на МАЗе технологии предусмотрено коренное изменение, как материала, так и способа упрочнения вышеперечисленных деталей. Вместо специальной легированной стали, предназначенной для операций химико-термической обработки, ведомую шестерню с внутренними зубьями изготавливают из стали 40Х и упрочняют контурной закалкой токами высокой частоты. Толщина закаленного слоя составляет 1,0–1,5 мм, а твердость поверхности 61–65 HRC. Вместо длительной по времени (28–35 часов) операции химико-термической обработки для ведущих шестерен и сателлитов применяют углеродистую сталь с ограниченным содержанием примесей — сталь пониженной прокаливаемости упрочняют объемно-поверхностной закалкой, длительность которой составляет 3–5 минут. При этом технология объемно-поверхностного упрочнения обеспечивает показатели надежности и долговечности деталей на 15–20% выше, чем при химико-термической обработке.

Технология и оборудование объемно-поверхностной закалки деталей из стали 60ПП внедрены в 2006 г. на РУП «МАЗ» для шестерен колесной передачи заднего моста автомобилей МАЗ. Две полуавтоматические установки обеспечивают ежедневно при двухсменной работе термообработку 1067 шт. сателлитов и 256 шт. ведущих шестерен колесной передачи, что составляет более 15800 шт. в год. Работу двух установок на участке обеспечивает один оператор.

На рис. 2 представлен общий вид участка для объемно-поверхностной закалки шестерен колесной передачи автомобиля МАЗ.

На рис. 3 представлен график с распределением твердости при закалке по различным технологиям применяемым на машиностроительных заводах РБ.

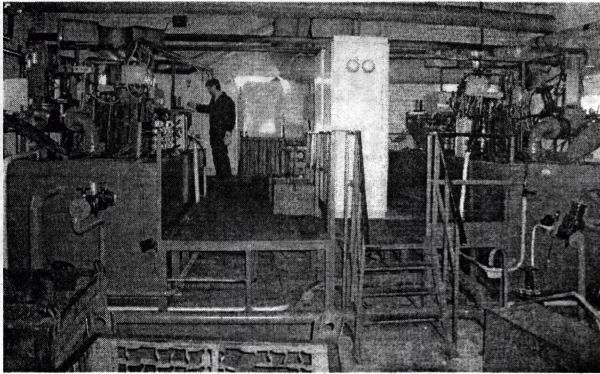


Рис. 2. Общий вид участка в составе двух установок для закалки ОПЗ шестерен колесной передачи автомобиля МАЗ

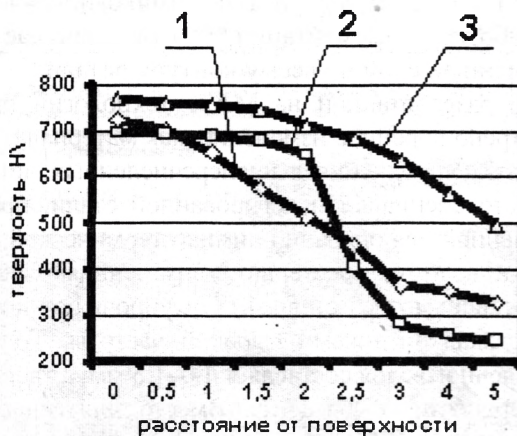


Рис. 3. Распределение твердости при различных технологиях упрочнения: 1 — цементация; 2 — закалка ТВЧ; 3 — объёмно-поверхностная закалка

При объёмно-поверхностной закалке (кривая 3) достигается оптимальное распределение твердости от поверхности к основному металлу по сравнению с химико-термической обработкой (кривая 1) и поверхностной закалкой ТВЧ (кривая 2).

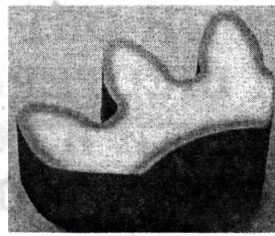
На рис 4 представлены фотографии макрошлифов фрагментов детали сателлит упрочненных по ранее действовавшей и внедренной технологии.

Сравнение представленных макрошлифов показывает, что глубина упрочненного слоя на шестерне из стали 60ПП после объёмно-поверхностной закалки значительно больше (в 1,5–2,5 раза) чем на шестерне из стали 20ХНЗА после цементации.

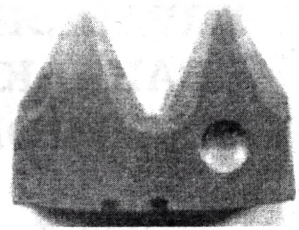
Это обеспечивает при прочих равных условиях значительно больший срок службы и допускает большую величину износа зубчатой поверхности при эксплуатации.

На рис. 5 представлены макрошлифы поперечного разреза по всему сечению деталей после объёмно-поверхностной закалки. На представленных фотографиях отчетливо видна зона уп-

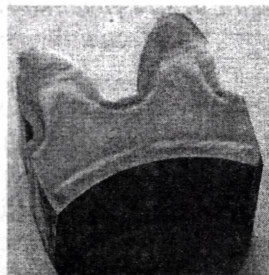
рочнения, как по наружной зубчатой поверхности, так и по внутренней цилиндрической для сателлита и шлицевой для ведущей шестерни.



а

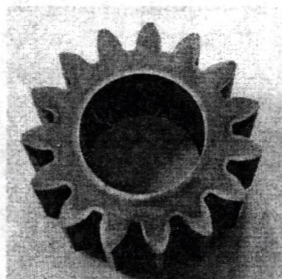


б

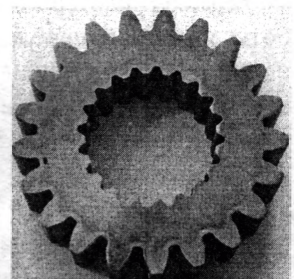


б

Рис.4. Фрагменты детали: а — сателлит из стали 20ХНЗА прошедший операцию цементации; б — ведущая шестерня из стали 40Х после поверхностной закалки ТВЧ; в — объёмно-поверхностная закалка сателлита из стали 60ПП



а



б

Рис. 5 Макрошлифы поперечного разреза по всему сечению деталей после объёмно-поверхностной закалки: а — сателлит; б — ведущая шестерня

**Испытания на статическую прочность при изгибе зуба шестерен колесной передачи из стали 20ХНЗА и 60ПП.** На РУП «МАЗ» были проведены сравнительные испытания на статическую прочность шестерен колесной передачи на разрывной машине модели ZDM-100 усилием 100 т. Для испытаний были выбраны по два сателлита 5336-2405035 из стали 60ПП, упрочненных объёмно-поверхностной закалкой, и стали 20ХНЗА, упрочненных цементацией и последующей термообработкой. Схема испытаний предоставлена на рис.6,а. Испытуемую шестерню устанавливали в приспособление на два зуба. Статическую нагрузку прикладывали сверху до момента разрушения зубьев и фиксировали на приборе машины.

Результаты испытаний свидетельствуют: для стали 60ПП разрушение наступает при нагрузке

410–480 кН, для стали 20ХНЗА — 400–440 кН. По виду излома видно, что характер излома зуба спеллитов из стали 20ХНЗА более хрупкий, а спеллитов из стали 60ПП — более вязкий.

Схема испытаний показана на рис.7 а-в. Разрушенные при испытаниях образцы — на рис. 7 г-д. Результаты испытаний приведены в табл. 1.

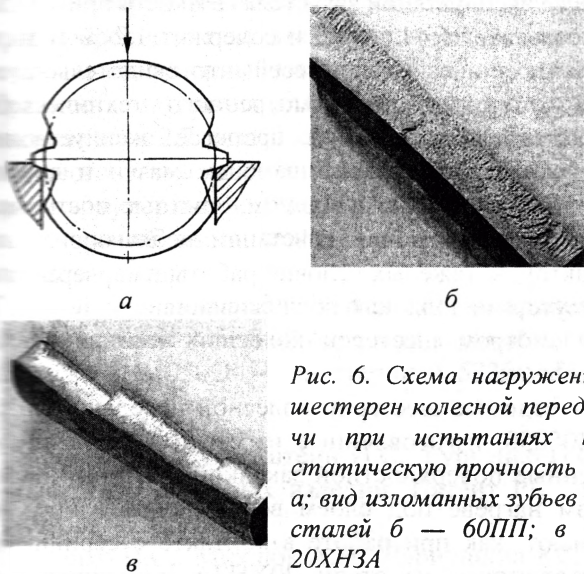


Рис. 6. Схема нагружения шестерен колесной передачи при испытаниях на статическую прочность — а; вид изломанных зубьев из сталей б — 60ПП; в — 20ХНЗА

**Испытания на прочность при ударном изгибе зуба шестерен колесной передачи из стали 20ХНЗА и 60ПП.** На РУП «МАЗ» выполнили испытания на ударный изгиб на маятниковом копре КМ-30 с максимальной энергией удара 300 Дж вырезанных образцов из зубьев сателлитов колесной передачи 5440-2504035.

Испытания проводили при следующих 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 20ХНЗА после химико-термической обработки.

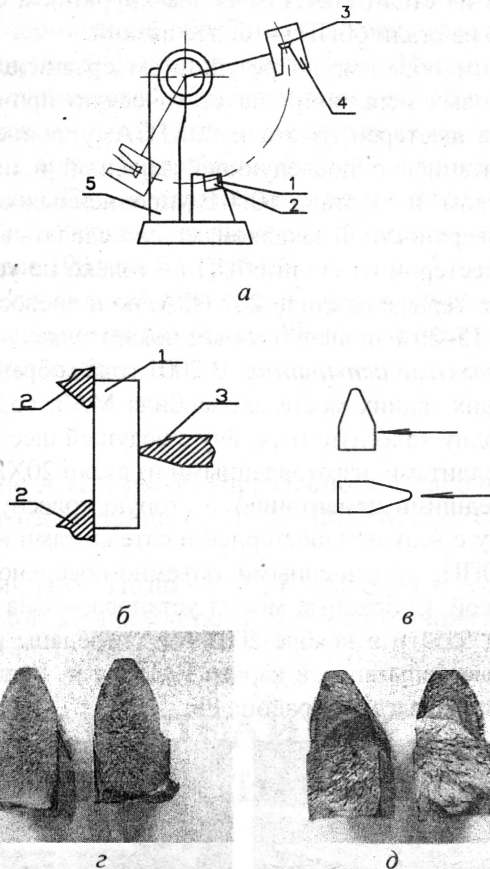


Рис. 7. Схема испытаний зубьев шестерни колесной передачи автомобиля МАЗ на ударный изгиб — а-в и вид разрушенных при испытаниях образцов из стали 20ХНЗА — г; и 60ППГТ — д. 1 — испытываемый образец; 2 — опора; 3 — нож молота; 4 — молот копра; 5 — стойка

Таблица 1

Результаты испытаний образцов из зубьев сателлитов 5440-2504035 на ударный изгиб

Сталь	Номер образца	Условия испытания	Температура испытания, °С	Энергия удара, Дж
20ХНЗА Цементация + закалка+ низкий отпуск	1	Удар по вершине зуба	20	117
	2	Удар по боковой поверхности зуба	20	71
	3	Удар по вершине зуба	-75	87
	4	Удар по боковой поверхности зуба	-75	30
	5	Удар по вершине зуба	-20	93
	6	Удар по боковой поверхности зуба	-20	62
60ПП Объемно- поверхностная закалка	1	Удар по вершине зуба	20	77
	2	Удар по боковой поверхности зуба	20	65
	3	Удар по вершине зуба	-75	132
	4	Удар по боковой поверхности зуба	-75	42
	5	Удар по вершине зуба	-20	102
	6	Удар по боковой поверхности зуба	-20	40

По виду излома (рис. 7, г-д) видно что, как и при испытаниях на статический изгиб, так и при ударных испытаниях характер излома зуба сателлитов из стали 20ХН3А более хрупкий, а сателлитов из стали 60ПП — более вязкий.

Таким образом, по результатам сравнительных стендовых испытаний на статическую прочность зубьев шестерен из стали 20ХН3А, упрочненных цементацией с последующей закалкой и низким отпускком, и из стали 60ПП, упрочненных объемно-поверхностной закалкой, можно сделать вывод, что шестерни из стали 60ПП не только не уступают шестерням из стали 20ХН3А, но и превосходят их на 15–20% по испытуемым показателям.

**Дорожные испытания.** В 2001 года собраны два ведущих задних моста автомобиля МАЗ, содержащие одну колесную передачу с ведущей шестерней и сателлитами, изготовленными из стали 20ХН3А и прошедшими цементацию, а вторую колесную передачу с ведущей шестерней и сателлитами из стали 60ПП, упрочненными объемно-поверхностной закалкой. Собранные мосты установлены на самосвалы 5551 и в ноябре 2001 года переданы на дорожные испытания в карьер ГАП-7 г.п. Красноселье, Волковисского района РБ.

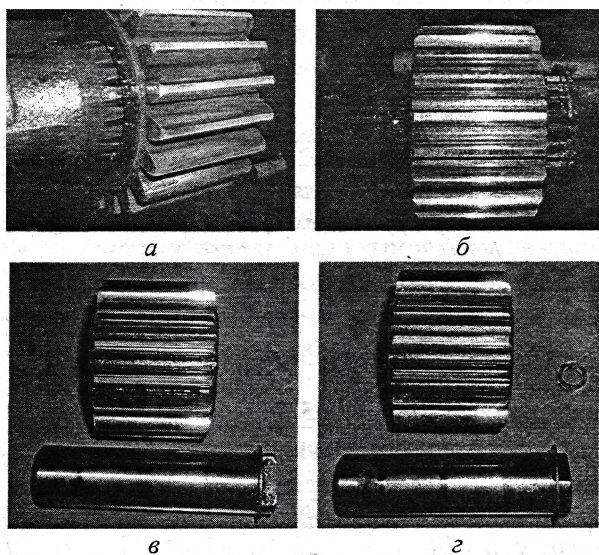


Рис. 8. Шестерни колесной передачи автомобиля МАЗ 5551 после пробега 120 тыс.км.: а — серийная ведущая шестерня 5551-2405028 из стали 20ХН3А, упрочненные ХТО, б — опытная ведомая шестерня 5551-2405028 из стали 60П111, упрочненная ОПЗ, в — серийный сателлит 5551-2405035 из стали 20ХН3А, г — опытный сателлит 5551-2405035 из стали 60ПП, упрочненный ОПЗ

В декабре 2002 года после пробега 120 тыс. км была произведена контрольная разборка эксплуатируемых на самосвалах МАЗ 5551 двух опытных

мостов, содержащих опытные шестерни из стали 60ПП, упрочненные объемно-поверхностной закалкой. При осмотре установлено, что смазка кардана моста так и колесной передачи в процессе эксплуатации загустела (вязкость при 100 °С составляет 16,44 мм<sup>2</sup>/с) и содержит 1,2 % воды и 1% механических примесей, что свидетельствует об отсутствии предусмотренного технического обслуживания моста в процессе эксплуатации: регулирования зазоров, замены смазки и других мероприятий. Таким образом, опытные мосты эксплуатировались при сочетании неблагоприятных факторов: тяжелых условий работы в карьерах при отсутствии должного обслуживания.

Осмотром шестерен колесной передачи установлено:

- ведомые шестерни колесной передачи 54326-2405050, изготовленные из стали 40Х и упрочненные поверхностной закалкой при индукционном нагреве под слоем воды следов износа не имеют, как при работе в контакте с серийными сателлитами из стали 20ХН3А, упрочненными ХТО, так и при работе в контакте с опытными сателлитами из стали 60ПП, упрочненными объемно-поверхностной закалкой;

- ведущая шестерня колесной передачи 5551-2405028, изготовленная из стали 20ХН3А и упрочненная ХТО имеет зону износа в виде питтинга на 8 зубьях у одного из торцов. Ведущая шестерня колесной передачи 5551-2405028, изготовленная из стали 60ПП и упрочненная объемно-поверхностной закалкой следов износа не имела;

- сателлиты колесной передачи, выполненные из стали 20ХН3А и стали 60ПП имеют одинаковый вид без видимых следов износа. Все шестерни второго опытного моста как серийные, так и опытные не имели следов износа.

В настоящее время пробег автомобилей с опытными мостами превышает 400 тыс. км, они находятся в работоспособном состоянии и их эксплуатация продолжается.

По сравнению с химико-термической обработкой созданная технология объемно-поверхностной закалки сталей пониженной прокаливаемости обеспечивает большую твердость поверхностного слоя и сердцевины, большую глубину упрочненного слоя, более высокую твердость сердцевины металла. При этом достигается значительная экономия энергоресурсов, сокращение длительности процесса термообработки и снижение его стоимости. Внедрение технологии и оборудования обеспечило снижение себестоимости изготовления при

одновременном увеличении прочности и долговечности шестерен, сокращении цикла упрочнения с 28 часов до 5 минут, сокращении затрат электроэнергии в 11,6 раз, полном устранении выбросов вредных испарений и газов в окружающую среду и затрат природного газа, закалочного масла, жаропрочных и жароупорных материалов.

Стоимость материала для изготовления шестерен снижена в 2,7 раза. Исключены потребление природного газа, закалочного масла, жаропрочных и жароупорных материалов и выбросы вредных испарений, дыма, сажи, тепла и газов в окружающую среду.

Годовой экономический эффект от внедрения ОПЗ для деталей колесной передачи автомобилей «МАЗ» 5440-2405028 — шестерня и 5336/5551-

2405035 — сателлит на программу составляет 1291,12 млн. рублей.

Стоимость оборудования для объемно-поверхностной закалки в сравнении с оборудованием для химико-термической обработки в десятки раз ниже. Так, например, стоимость комплекса «Ипсен» для химико-термической обработки этих деталей с производительностью 20 шт./час составляет около 2 млн. евро (5,2 млрд. белорусских рублей), а стоимость установки ОПЗ для упрочнения сателлитов колесной передачи с производительностью 74 шт./час составила около 190 млн. бел. рублей.

Технологический процесс и конструкция установок защищены патентами РБ на изобретение и полезную модель.

#### *Литература*

1. Ракомсин А.П., Гаухштейн И.С., Гурченко П.С., Михлюк А.И. Способ управляемого закалочного охлаждения стальных изделий. Патент РБ № 7184 на изобретение от 01.02.2005, МТ1К7С21Д 11/00, 1/78.
2. Гурченко П.С., Михлюк А.И., Дариушкин КС, Гуринович И.И., Позняк С.А., Климович А.А., Гуринович В.А., Ракомсин А.П. Устройство для управляемой закалки деталей и сталей пониженной прокаливаемости. Патент РБ на полезную модель №2374 от 15.09.2005.

## ПРОЦЕССЫ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ В ТВЕРДОЖИДКОМ СОСТОЯНИИ

*Волочко А.Т., ФТИ НАН Беларуси*

Применение методов формообразования в твердожидком состоянии является одним из перспективных процессов получения изделий в машиностроении. С использованием этих методов получают детали из материалов на основе Al, Mg, Zn, Sn и ряда других сплавов. Особый интерес в последние годы вызывают материалы на основе алюминия, они определяют возможность создания легких деталей взамен изделий из стали и чугуна [1,2]. В качестве примера можно привести такие детали, как диски автомобиля, картер маховика, шатун, главный тормозной цилиндр и др. Однако, несмотря на широкое использование, традиционные методы литья, не всегда обеспечивают требуемый уровень качества и свойств материала заготовок.

Сравнительная оценка стоимости отливок (рис. 1 а) [3], полученных различными методами литья, указывает, что литье под давлением (ЛПД) характеризуется наименьшей стоимостью и высокой производительностью процесса. Однако использование этого метода для формования ответственных изделий ма-

шиностроения связано с рядом существенных недостатков, в первую очередь, с неоднородностью свойств и остаточной пористостью, что не позволяет производить повторный нагрев под закалку. В последнее время для уменьшения пористости отливок процесс ЛПД осуществляют вакуумированием или вентиляцией пресс-форм с контролируемой скоростью впрыска сплава, что значительно усложняет процесс и увеличивает стоимость литья.

Жидкая штамповка в отличие от ЛПД хотя и позволяет получать более плотные заготовки с небольшими припусками под механическую обработку, однако часто приводит к ликвации жидкого металла.

В последние годы особое развитие получили тиксотехнологии (так называемые «Semi-Solid Metal» — SSM) — процессы формообразования в твердожидком состоянии, основанные на эффекте тиксотропии — способности снижать сопротивление сдвиговым деформациям при затвердевании при определенном давлении и скорости в литниковом ходе (рис. 1 б) [4]. Необходимым условием эффекта тик-