



The specialists of RUP "MAZ" created and industrially assimilated modern technology and automated machinery on thermal processing of heavy-loaded details of irregular shape, which have no analogues in the Republic of Belarus and CIS countries.

П. С. ГУРЧЕНКО, А. П. РАКОМСИН, А. И. МИХЛЮК, В. А. ГУРИНОВИЧ, РУП «МАЗ»

УДК 621.74

СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЯ ИЗ СТАЛЕЙ ПОНИЖЕННОЙ ПРОКАЛИВАЕМОСТИ

Введение. Стали пониженной прокаливаемости нашли широкое промышленное применение при упрочнении различных деталей автотехники по так называемому методу объемно-поверхностной закалки начиная с 60-х годов прошлого века. Отличительной особенностью первого поколения сталей пониженной прокаливаемости (стали 58, 54) было значительное содержание как марганца и кремния (0,1–0,3%), так хрома, никеля и меди (до 0,25% каждого при содержании углерода от 0,4–0,65%). Практический опыт применения подобных сталей (ГАЗ, АЗЛК, МАЗ) показал, что при достижении высокого комплекса механических свойств после закалки, в связи с тем что суммарное содержание легирующих элементов было значительным (более 0,5%), это нередко приводило к повышенной глубине закаленного слоя.

Дальнейшее применение сталей пониженной прокаливаемости было связано с ужесточением требований по величине прокаливаемости, что напрямую связано с количественным содержанием обычных примесей – содержание каждой не более 0,1%, и раскислением алюминием при выплавке, который, взаимодействуя с азотом, образовывал мелкодисперсные нитриды, препятствующие росту зерна аустенита при нагреве. Для второго поколения сталей пониженной прокаливаемости это обеспечивало требуемую величину прокаливаемости. С другой стороны, это привело к удорожанию стоимости стали и усложнению процесса ее выплавки.

На современном этапе к сталям пониженной прокаливаемости и объемно-поверхностной закалке многие предприятия вновь проявляют значительный интерес, что связано с высокой экономической эффективностью освоения данной технологии и материала в качестве альтернативы дорогостоящей химико-термической термообработке.

На РУП «МАЗ» на основании комплекса научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ было освоено изготовление деталей из стали пониженной прокаливаемости 60ПП с упрочнением по методу объемно-поверхностной закалки.

В отличие от ранее известных и успешно освоенных технологий упрочнения деталей из сталей пониженной прокаливаемости работу проводили по двум направлениям:

- применение стали пониженной прокаливаемости с разумным ограничением в ней количества обычных примесей;
- применение технологии индукционного нагрева и закалочного охлаждения с контролем и управлением параметрами технологического процесса.

Марка стали. В качестве основного материала была использована марка стали 60ПП с содержанием углерода 0,57–0,61%, химический состав которой соответствует химическому составу стали 60 по ГОСТ 1050, со следующими отклонениями: массовая доля марганца не более 0,20%, кремния – 0,1–0,3, хрома – не более 0,15%, допускается в виде технологической добавки в зависимости от поставщика, массовая доля титана – не более 0,10% или ванадия – 0,02–0,05%. Причем суммарное содержание примесей не должно превышать 0,5%. Применение марки стали пониженной прокаливаемости с такими показателями обеспечивает требуемые значения прокаливаемости при приемлемой стоимости и сложности изготовления. При этом оговаривается прокаливаемость не более 38HRC на расстоянии 3 мм от торца образца.

На рис. 1 показан график прокаливаемости различных профилей стали 60ПП производства РУП «МАЗ».

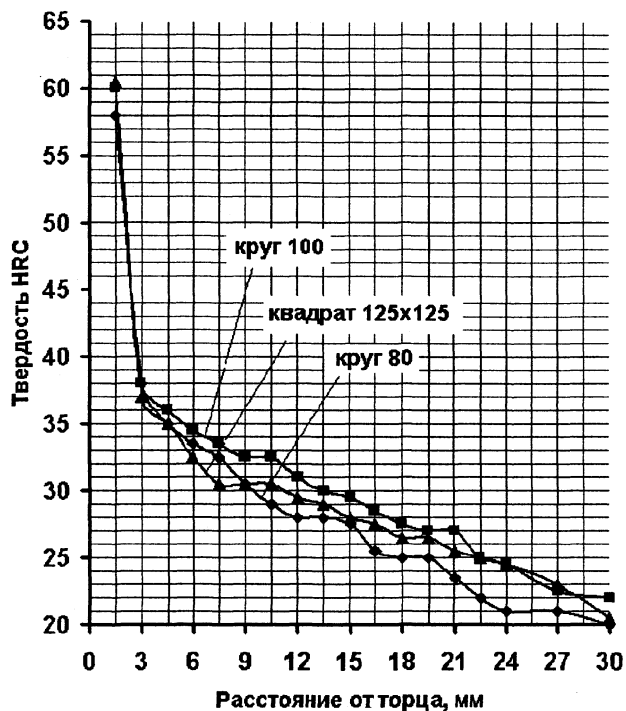


Рис. 1. График прокаливаемости различных профилей стали 60ПП производства РУП «БМЗ» по ГОСТ 5657-69 «Сталь. Метод испытания на прокаливаемость»

Сталь пониженной прокаливаемости с таким комплексом свойств является широко доступной. Она имеет невысокую стоимость и обеспечивает требуемые значения прокаливаемости.

Объект внедрения. Объектом промышленного внедрения стали пониженной прокаливаемости 60ПП и метода объемно-поверхностной закалки были выбраны цилиндрические прямозубые шестерни планетарной колесной передачи автомобиля МАЗ (ведущая шестерня и сателлит).

Планетарная колесная передача транспортного средства (рис. 2) является одним из важнейших узлов заднего ведущего моста и предназначена для передачи крутящего момента от двигателя на ведущие колеса. 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.

По условиям работы планетарной передачи ведущая шестерня 1 и сателлиты 2 – самые нагруженные элементы и для обеспечения их надежности изготавливаются из стали 20ХН3А, подвергаются химико-термической обработке – цементации с упрочненным слоем по всему контуру детали.

По разработанной технологии предусмотрено коренное изменение как материала, так и способа упрочнения деталей. Вместо специальной легированной стали 20ХН3А, предназначенной для операций химико-термической обработки, применяется углеродистая сталь с ограниченным содержанием примесей – сталь пониженной прокаливаемо-

сти 60ПП. Вместо длительной по времени операции химико-термической обработки применяется операция объемно-поверхностной закалки, длительность которой составляет несколько секунд. При этом технология объемно-поверхностного упрочнения обеспечивает показатели надежности и долговечности деталей на 15–20% выше, чем при химико-термической обработке.

Оборудование и технологический процесс. Оборудование для объемно-поверхностной закалки деталей из сталей пониженной прокаливаемости представляет собой полуавтоматическую установку роторного типа, имеющую восемь рабочих позиций, расположенных равномерно по диаметру, которая состоит из индукционного нагревательного блока с тремя последовательно расположенными индукционными нагревателями (индукторами), системы подачи закалочной воды, камеры охлаждения, механизма подачи деталей, датчиков, блока управления и пульта управления, смонтированных на общей раме.

На рис. 3 показана схема работы и функциональная взаимосвязь системы управления установки.

Установка работает следующим образом. Закалываемая деталь 1, последовательно нагреваясь на трех позициях нагрева, поступает на позицию окончательного нагрева 2, где установлен датчик 3 измерения температуры нагрева детали. Датчик регистрирует температуру нагрева и по достижении требуемой температуры подает сигнал на

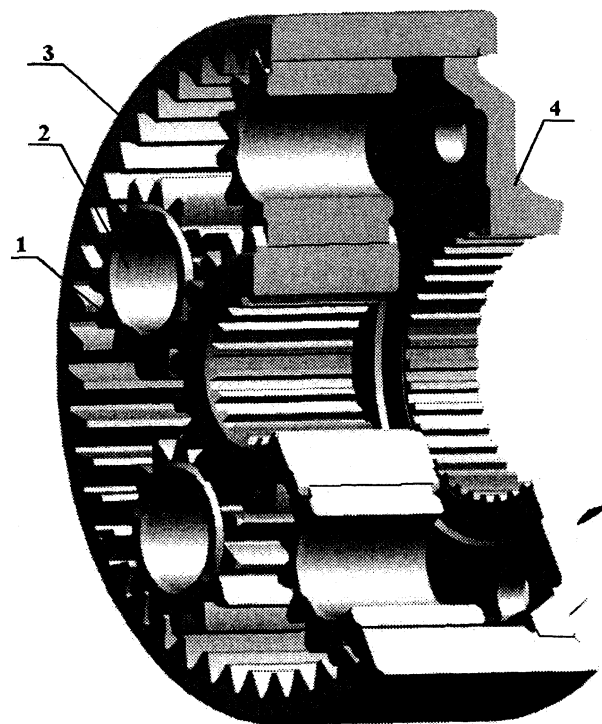


Рис. 2. Планетарная колесная передача автомобиля МАЗ: 1 – ведущая шестерня; 2 – сателлит; 3 – ведомая шестерня; 4 – ступица

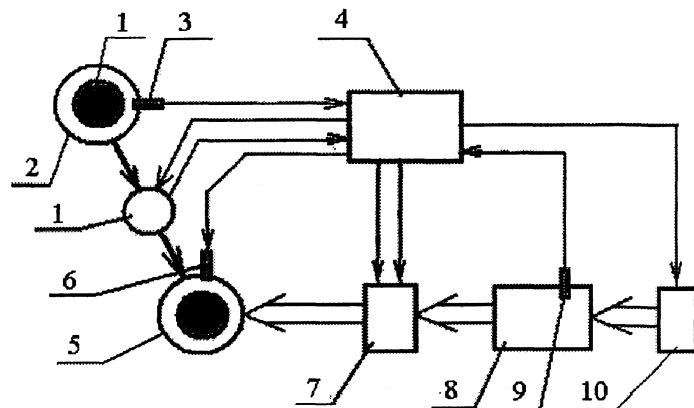


Рис. 3. Схема работы системы управления установки для закалки деталей из стали 60ПП: 1 – закаливаемая деталь; 2 – позиция окончательного нагрева; 3 – датчик измерения температуры нагрева детали; 4 – блок управления; 5 – камера охлаждения; 6 – датчик измерения расхода закалочной среды; 7 – пневмогидравлический клапан; 8 – бак; 9 – датчик измерения температуры закалочной среды; 10 – устройство поддержания температуры охлаждающей среды

блок управления 4 о готовности детали к закалке. Блок подает команду исполнительным механизмам, которые перемещают деталь в камеру охлаждения 5. В камере охлаждения расположен датчик 6 измерения расхода закалочной воды в процессе закалки. В процессе закалки датчик 6 измеряет величину расхода закалочной среды в камере охлаждения 5 и подает сигнал на электронный блок управления 4, который сравнивает ее с заданными значениями. При отклонении величины расхода от заданной электронный блок управления 4 подает сигнал на пневмогидравлический клапан 7 для корректировки расхода камере 5 путем изменения величины рабочего прохода клапана 7.

В баке 8 системы подачи закалочной воды установлен датчик 9 измерения температуры. При изменении величины температуры от заданной датчик 9 подает сигнал в электронный блок 4, который управляет устройством поддержания температуры охлаждающей воды 10. В зависимости от сигнала производится либо слив горячей воды и пополнение бака холодной водой, либо подогрев ее в баке электронагревателями.

Таким образом, согласно технологическому процессу при объемно-поверхностной закалке производят контроль и управление параметрами нагрева (скорость и температура) и параметрами закалочного охлаждения (время закалки, температура и расход закалочной среды). Скорость индукционного сквозного нагрева детали составляет 4–8 °С/с, неравномерность нагрева детали по сечению – не более 15°С. Скорость закалочного охлаждения – не менее 1000 °С/с.

Полученные результаты. По сравнению с химико-термической обработкой предлагаемая технология объемно-поверхностной закалки сталей пониженной прокаливаемости обеспечивает боль-

шую твердость поверхностного слоя и сердцевины, большую глубину упрочненного слоя, более высокую твердость сердцевины металла. При этом достигаются значительная экономия энергоресурсов, сокращение длительности процесса термообработки и снижение его стоимости.

На рис. 4, а, б показаны фотографии макрошлифов фрагментов детали «сателлит», упрочненных по ранее действовавшей и внедренной технологии, а на рис. 4, в – кривые распределения твердости для данных деталей на расстоянии 2/3 от вершины зуба.

Сравнительный анализ представленных макрошлифов показывает, что глубина упрочненного слоя на шестерни из стали 60ПП после объемно-поверхностной закалки значительно больше (в 1,5 – 2,5 раза), чем на шестерни из стали 20ХН3А

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

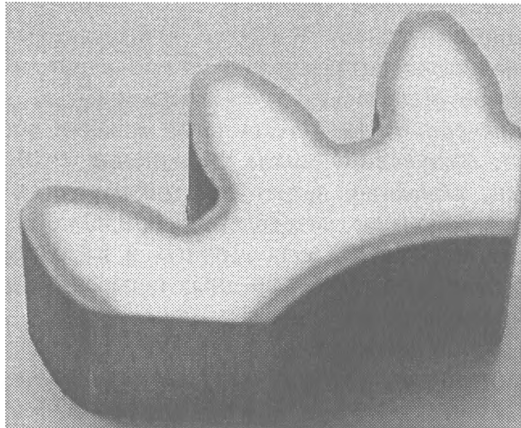
Испытания. С 2001 г. проходят дорожные испытания два ведущих задних моста автомобиля МАЗ 5551, содержащих одну колесную передачу с ведущей шестерней и сателлитами, изготовленными из стали 20ХН3А и прошедшими цементацию, а вторую колесную передачу с ведущей шестерней и сателлитами из стали 60ПП, упрочненными объемно-поверхностной закалкой. При пробеге 120 тыс. км была произведена контрольная разборка опытных мостов, содержащих опытные шестерни из стали 60ПП, упрочненные объемно-поверхностной закалкой. При осмотре шестерен колесной передачи установлено, что:

Ведущая шестерня колесной передачи, изготовленная из стали 20ХН3А и упрочненная ХТО, имеет зону износа А в виде питтинга на восьми зубьях у одного из торцов (рис. 5, а). Ведущая шестерня колесной передачи 5551-2405028, изготовленная из стали 60ПП и упрочненная объемно-поверхностной закалкой, следов износа не имеет (рис. 5, б).

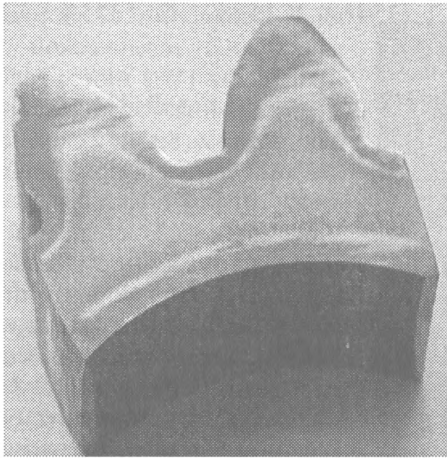
Сателлиты колесной передачи, выполненные из сталей 20ХН3А и 60ПП, имеют одинаковый вид без видимых следов износа (рис. 5, в, г).

Все шестерни второго опытного моста как серийные, так и опытные не имеют следов износа.

Таким образом, по результатам эксплуатационных испытаний шестерен заднего моста автомобиля МАЗ 5551 установлено, что ведущие шестерни и сателлиты колесной передачи из стали 60ПП и упрочненные объемно-поверхностной закалкой по износостойкости, прочности, надежности и ресурсу работы не уступают серийным из стали 20ХН3А, упрочненным ХТО,



a



б

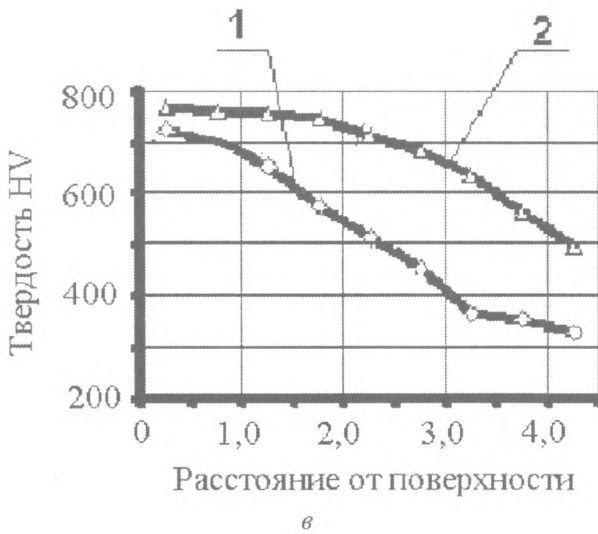
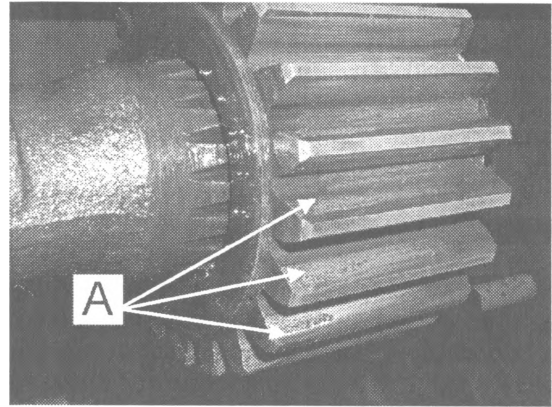
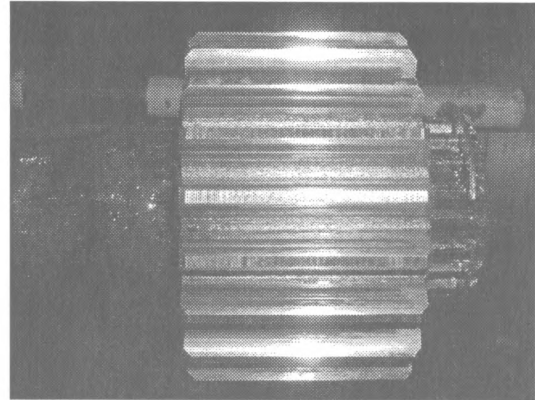


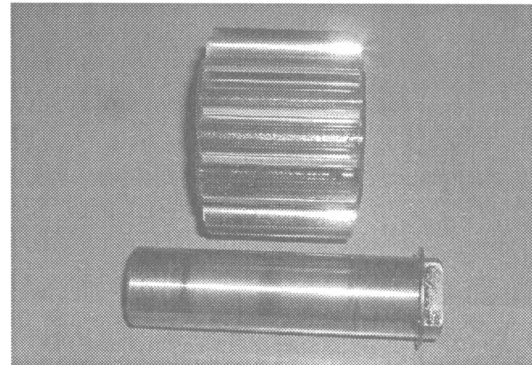
Рис. 4. Фотография макрошлифа (*a, б*) и распределение твердости (*в*) по сечению детали «сателлит»: *a* – из стали 20ХН3А, прошедшей операцию цементации; *б* – из стали 60ПП с объемно-поверхностной закалкой; *в* – распределение твердости по глубине при различных способах упрочнения: 1 – цементация стали 20ХН3А; 2 – объемно-поверхностная закалка стали 60ПП



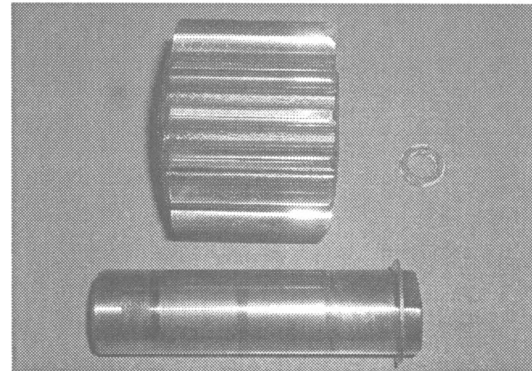
a



б



в



г

Рис. 5. Шестерни колесной передачи автомобиля МАЗ 5551 после пробега 120 тыс. км: *a* – серийная ведущая шестерня 5551-2405028 из стали 20ХН3А, упрочненная ХТО; *б* – опытная ведомая шестерня 5551-2405028 из стали 60ПП, упрочненная ОПЗ; *в* – серийный сателлит 5551-2405035 из стали 20ХН3А; *г* – опытный сателлит 5551-2405035 из стали 60ПП, упрочненный ОПЗ

а по точности превосходят их. В настоящее время пробег данных автомобилей с опытными мостами превышает 380 тыс. км.

Практическая реализация. 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 всех модификаций.

Две полуавтоматические установки обеспечивают термообработку с суточным темпом около 1250 деталей при 2-сменном режиме работы. На рис. 6 показан общий вид участка для объемно-поверхностной закалки шестерен колесной передачи автомобиля МАЗ. Работу двух установок на участке обеспечивает один оператор. Перевод шестерен колесной передачи с цементации на объемно-поверхностную закалку позволил на 15–18% снизить загрузку оборудования для химико-

термической обработки, повысить мобильность процесса изготовления шестерен.

Экономическая эффективность. Внедрение разработанного технологического процесса обеспечило значительную экономию материальных и топливно-энергетических ресурсов.

Внедрение новой технологии закалки обеспечивает сокращение цикла упрочнения с 28 ч до 5 мин, снижение затрат электроэнергии в 11,6 раза, исключены потребления 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 объемно-поверхностной закалки деталей колесной передачи автомобилей МАЗ из стали 60ПП составил около 580 тыс. долларов США. 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 производительностью 20 шт./ч составляет около 2 млн. евро (5,2 млрд. белорусских рублей), а стоимость одной установки ОПЗ для упрочнения сателлитов колесной передачи производительностью 74 шт./ч – около 90 тыс. долл. США.

На рис. 7 показаны основные сравнительные показатели экономической эффективности внедренной технологии для шестерен планетарной передачи заднего моста автомобиля МАЗ.

Заключение. Специалистами РУП «МАЗ» созданы и промышленно освоены современная технология и автоматизированное оборудование по термообработке тяжело нагруженных деталей сложной формы, не имеющие аналогов в РБ и странах СНГ, которые защищены патентами РБ на изобретение и полезную модель.

Конструктивные и технологические решения, заложенные на стадии исследования процессов упрочнения, проектирования и изготовления оборудования, позволили создать мощности для термообработки шестерен с суточным темпом около 1250 деталей при 2-сменном режиме работы с обеспечением высокого качества выпускаемой продукции.

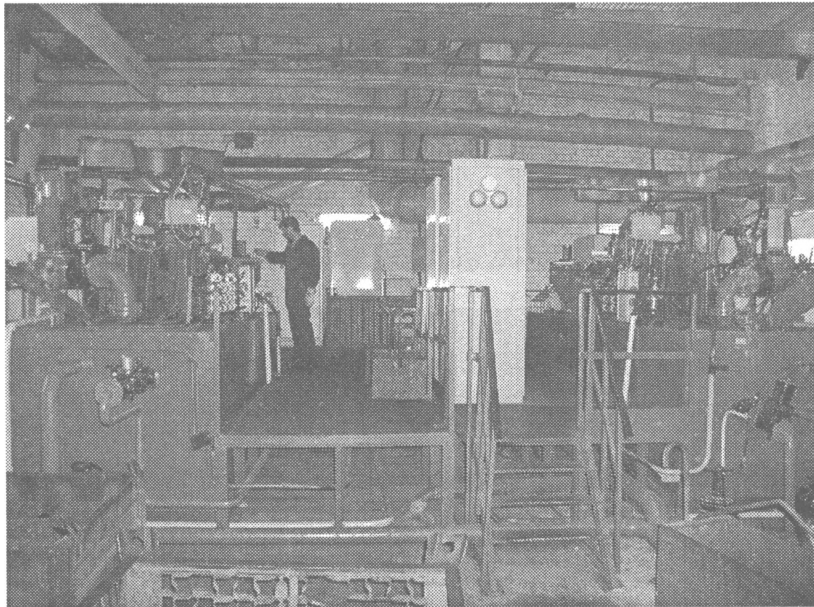


Рис. 6. Общий вид участка двух установок для ОПЗ шестерен колесной передачи автомобиля МАЗ

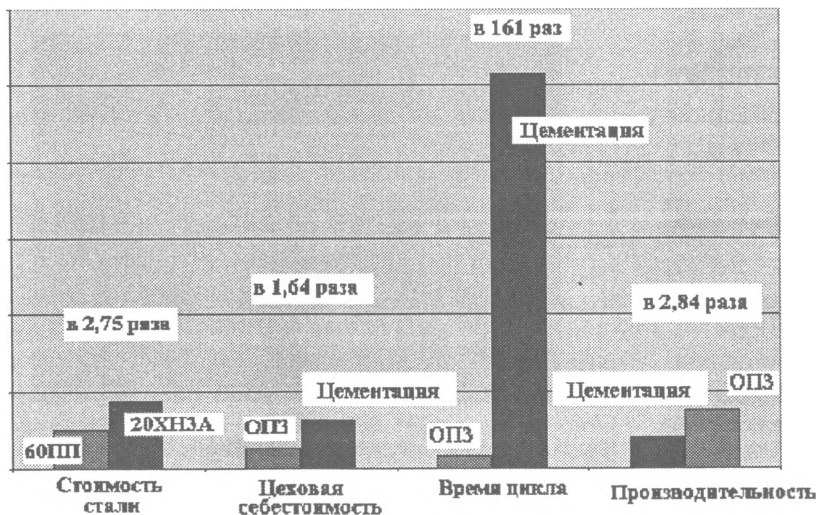


Рис. 7. Сравнительный анализ экономической эффективности технологии управления объемно-поверхностной закалкой стали 60ПП и цементации стали 20ХНЗА