

intervals, prediction intervals and tolerance intervals; 6. РД 10.2.8-92. Испытания сельскохозяйственной техники. Надежность. Сбор и обработка информации.

УДК 669.621.785

В.А. Гуринович, П.С. Гурченко, А.И. Михлюк

РЕГУЛИРУЕМОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ ЗАГОТОВОК В ПРОЦЕССЕ ГОРЯЧЕГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ – КАК МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ЗАДАННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЯ.

*РУП «Минский автомобильный завод»
Минск Беларусь*

Получение заданных свойств деталей автомобиля, адекватных условиям её эксплуатации, всегда было актуально, так как решение данной задачи позволяло получить равнопрочную конструкцию автомобиля, что является оптимальным как с технической, так и экономической стороны. Для деталей, которые в процессе изготовления подвергаются различным видам технологических операций, связанных с многократным нагревом, прогнозирование заданных свойств конечной детали следует начинать на самых первых стадиях её изготовления. Это касается в первую очередь процессов регулирования скоростей термического воздействия (нагрева, выдержки и охлаждения) на операции горячего формообразования: ковке, штамповке. Известно, что в процессе горячей штамповки иликовки детали предварительно подвергают нагреву до интервала ковочных температур 1100 – 1250 °С. Для достижения равномерного температурного поля по сечению заготовки, в первую очередь массивной заготовки, требуется длительная выдержка в интервале высоких температур, что приводит к росту зерна и формированию грубой структуры металла с 1-2 баллом зерна по ГОСТ 5639-82. Для исправления этого применяют объёмную термическую обработку: нормализацию, отжиг или закалку с отпуском.

Вместе с тем есть ряд сталей, для которых получение мелкой структуры особенно важно при формировании конечного комплекса прочностных свойств. В первую очередь это относится к сталям пониженной прокаливаемости типа 60ПП и 80ПП, детали из которых после упрочнения по методу объёмно-поверхностной закалки в последнее время успешно применяются как альтернатива сталям типа 12ХНЗА, 20ХНЗА, 18ХГТ и др. подвергаемым химико-термической обработке.

Метод объёмно-поверхностной закалки (далее ОПЗ), предложенный в середине 60-х годов прошлого столетия К.З.Шепеляковским, нашел широкое применение в практике упрочнения деталей машиностроения на многих предприятиях как Республики Беларусь, так и ряда стран СНГ. Метод основан на закалке специально разработанных углеродистых сталей с регламентированным содержанием химических элементов быстродвижущимся потоком воды. Этот метод по сравнению с другими видами термической обработки имеет целый ряд преимуществ.

1. По сравнению с термическим улучшением – наряду с упрочненной сердцевиной получается прочный и твердый поверхностный слой. Кроме того, возникающие сжимающие напряжения повышают усталостную прочность.

2. По сравнению с цементацией – твердости поверхностного слоя и сердцевины получаются одинаковыми, но при глубинном нагреве обеспечивается большая глубина слоя с высокой твердостью и большая твердость сердцевины.

3. По сравнению с высокочастотной закалкой обеспечивается большая глубина закаленных слоев, большая твердость сердцевины и плавный переход от закаленного слоя к основному металлу.

4. По сравнению с химико-термической обработкой резко ускоряется процесс термообработки, значительно снижается стоимость термообработки, уменьшаются деформации и стоимость стали.

На Минском автомобильном заводе накоплен определенный опыт по применению метода ОПЗ. Так в течение длительного времени этот метод применялся при закалке различных деталей, таких как шкворень, полуось, ведомая шестерня главной передачи МАЗ 205. Применялись следующие марки стали: 55ПП, У6А, НИПРО, 47ГТ, 45, химический состав которых приведен в табл. 1

Таблица 1.

Марки сталей пониженной прокаливаемости применяемых на МАЗе.

Марка стали	Химический состав элементов в %									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	Ti
55ПП	0,59	0,25	0,14	0,010	0,026	0,05	0,05	-	-	0,10
У6А	0,56	0,20	0,17	0,020	0,028	0,09	0,2	-	-	-
НИПРО	0,58	0,19	0,27	0,010	0,028	0,09	0,2	0,10	0,035	-
47ГТ	0,47	0,16	0,98	0,035	0,035	0,25	0,25	0,30	-	0,1
45	0,45	0,26	0,68	0,035	0,035	0,09	0,2	-	-	-

Вместе с тем вопросам предварительной подготовки структуры для данного типа сталей на стадии горячего формообразования до настоящего времени не уделялось достаточного внимания. Повышенные требования потребителей по качеству выпускаемой продукции, резкое увеличение нагрузок на автомобильную технику и высокая интенсивность эксплуатации можно решить путем улучшения качества автомобиля в целом и каждой детали в частности.

На Минском автозаводе выполнены исследования по достижению заданных свойств на поковках деталей автомобиля из сталей пониженной прокаливаемости, в частности стали 60ПП ТУ РБ 04778771.015-99 производства БМЗ (см. табл. 2), путем регулирования скоростей охлаждения металла после операции горячей штамповки, выполняемой с ускоренного индукционного нагрева до температур 1000 – 1100 °С.

Таблица №2

Химический состав стали 60ПП, в %

C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S	Cu	As	Ti	Mn+ Cr+ Ni+ Cu
0,61	0,18	0,17	0,07	0,07	0,06	0,08	0,12	0,01	0,01	0,45

Ускоренный индукционный нагрев предотвращает рост зерна в процессе самого нагрева. Цель регулируемого охлаждения заключается в предотвращении роста деформированного и измельченного пластической деформацией аустенитного зерна в процессе медленного охлаждения от ковочных температур. Распад аустенита сдвигается в более низкий интервал температур, протекает в короткий промежуток времени и обеспечивает более мелкую дисперсную наследственную структуру.

Техника выполнения данной предварительной термообработки, совмещенной с процессом горячей штамповки, пояснена на рис.1. Поковки 1 после скоростного индукционного нагрева до температуры 1000 – 1100°С, при перепаде температуры по сечению не более 50-80°С и горячей штамповки поступают на обрубной штамп 2 для удаления облоя. После удаления облоя поковки поштучно по лотку 3 поступают в бак 4

заполненный охлаждающей средой 5. В баке 4 расположена качающаяся корзина 5, которая по истечении определенного времени поворачивается и извлекает заготовку 1 на лоток 7, по которому она скатывается в ящик 8 готовой продукции. В ящике происходит выравнивание температуры по сечению поковки за счет перетока тепла от горячей сердцевины к охлажденной поверхности и завершается распад аустенита в интервале температур 500 – 650 °С.

В качестве охлаждающей среды использовали воду техническую. При этом контролировали и регулировали температуру и расход охлаждающей воды в баке. Время охлаждения поковки, т.е. время нахождения каждой поковки в баке 4 контролировалось с помощью реле времени с точностью до 0,1с.

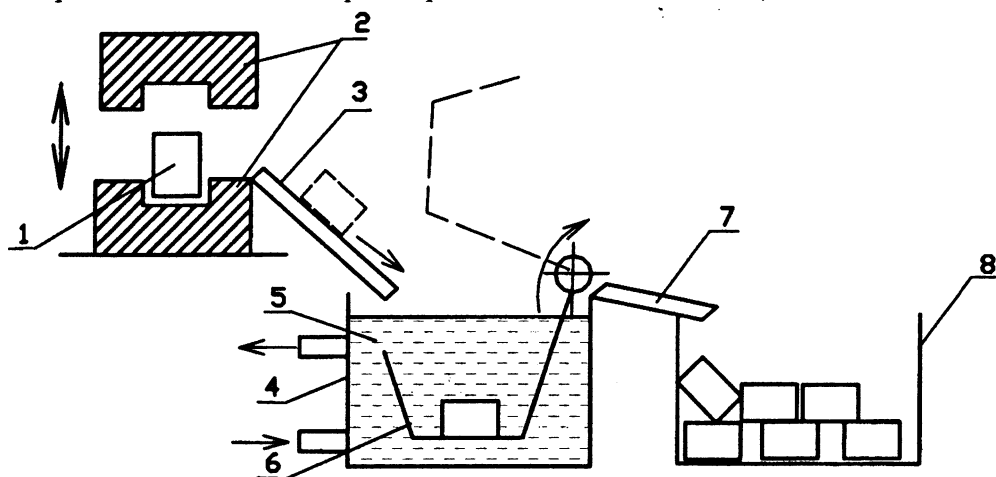


Рис.1. Схема устройства для регулируемой предварительной термообработки поволок деталей автомобиля из сталей пониженной прокаливаемости. 1 – поковка, 2 – штамп, 3 – лоток, 4 – охлаждающий бак, 5 – охлаждающая среда 6 – качающаяся корзина, 7 – лоток, 8 – ящик готовой продукции.

Быстрый индукционный нагрев, последующая пластическая деформация приводящая к деформации зерна в комплексе с последующим интенсивным регулируемым охлаждением позволяют подавить процесс роста зерна, а регулируя интенсивность охлаждения (температура и расход воды, время пребывания) достигается требуемая мелкозернистая структура. Исследования проводили на поковках шестерен колесной передачи автомобиля МАЗ.

На рис. 2. показано изменение температуры поволок сателлита 5336 -2405035 (рис 2, а) и шестерни 5440 -2405028 (рис 2, б) после регулируемого охлаждения с различной температуры нагрева. Температура охлаждающей воды при этом составляла 18 - 20 °С.

При этом замерялась усредненная температура поволок после ускоренного охлаждения и выравнивания по сечению в течение 20 -30 с, которая представлена в таблице 3. Это позволило определить количество тепла сохраняющегося в теле металла после различной длительности охлаждения и по результатам проведенных металлографических исследований установить оптимальное время охлаждения, обеспечивающее требуемую структуру по сечению поковки.

На рис 3 представлены макрошлифы из поволок, обработанных по следующему режиму: нагрев в печи до 1000°С, выдержка 0,5 часа и ускоренное охлаждение в спокойной воде в охлаждающем баке разработанного приспособления с различной длительностью.

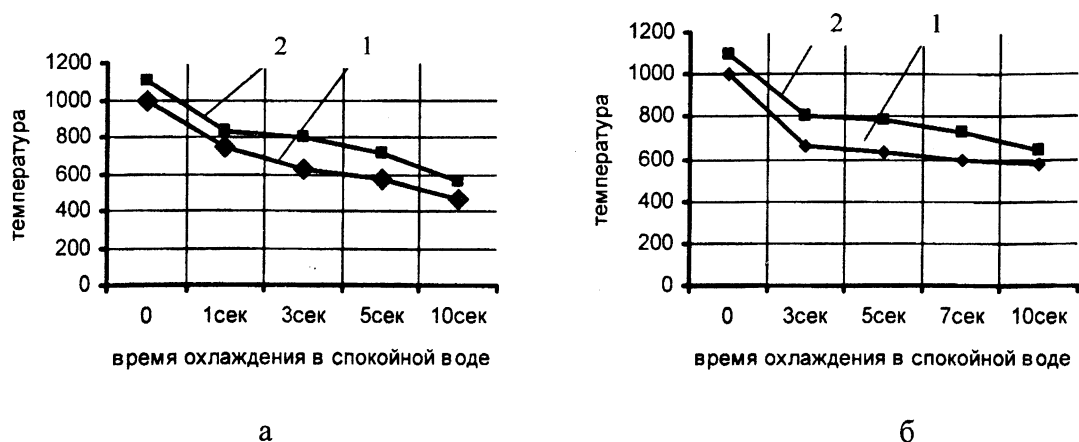


Рис 2. График изменения температуры поковок из стали 60ПП при различном времени охлаждения: 1 - нагрев до 1000°C , 2 – нагрев до 1100°C .

Таблица №3

Усредненная температура поковок из стали 60ПП после охлаждения в спокойной воде и выравнивания температуры по сечению в течение 20 -30 с

Шестерня 5440 -2405028			Сателлит 5336 -2405035		
Время охлаждения с	Усредненная температура поковок после охлаждения		Время охлаждения с	Усредненная температура поковок после охлаждения	
	Нагрев под ковку 1000°C	Нагрев под ковку 1100°C		Нагрев под ковку 1000°C	Нагрев под ковку 1100°C
1	750	830	3	660	800
3	630	800	5	630	780
5	570	710	7	600	730
10	470	560	10	580	640

В таблице №4 представлены результаты исследований микроструктуры и измерений твердости на поверхности и в сердцевине поковок, а на рис 4 представлена микроструктура поверхностного слоя и сердцевины поковки.

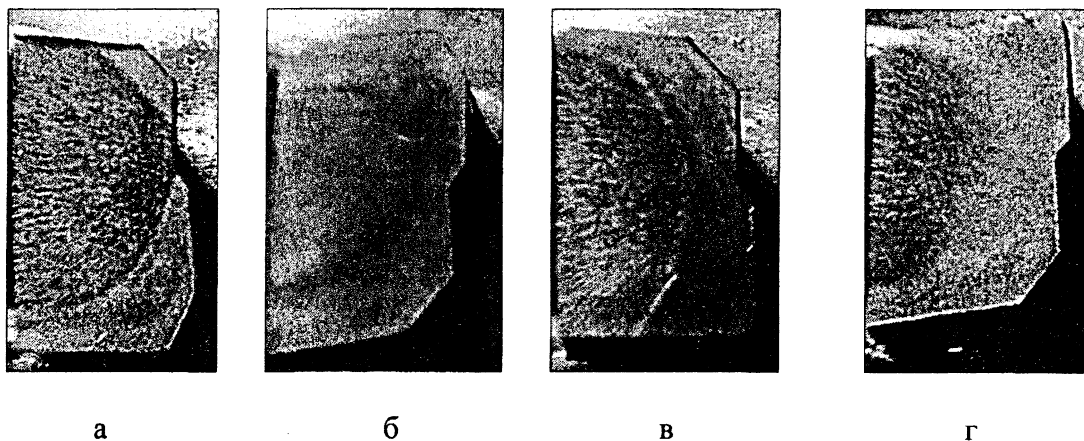
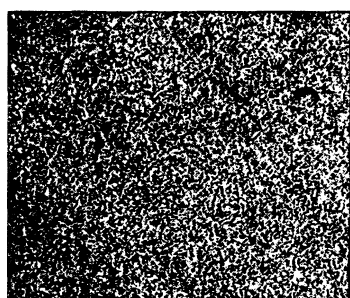


Рис 3. Макрошлиф поковок детали 5336-2405028 – шестерня. А - охлаждение 3 сек в воде и далее на воздухе, б – 5 сек и далее на воздухе; в – 7 сек и далее на воздухе; г – 10 сек и далее на воздухе.

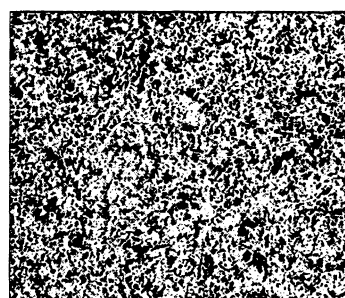
Результаты металлографических исследований поковок из стали 60ПП.

Поковка по рис 3	Микроструктура поверхностного слоя	Твердость поверхности НВ	Микроструктура сердцевины	Твердость сердцевины, НВ
а	Сорбит	235	Перлит пластинчатый + феррит по границе зерна	212
б	Сорбит	241	Перлит пластинчатый + феррит по границе зерна	207
в	Сорбит	241	Перлит пластинчатый + феррит по границе зерна	212
г	Сорбит	269	Перлит пластинчатый + феррит по границе зерна	229

Выполнены исследования структуры и измерения твердости поверхности и сердцевины поковок при управляемом охлаждении с температурой охлаждающей среды 30°C и 40 °С, а также при полном охлаждении поковки в охлаждающем баке. Было установлено, что увеличение температуры охлаждающей среды до 30°C практически не сказывается на результаты термообработки (уменьшение твердости составляет от 8 до 19 единиц НВ, а толщины сорбитного слоя – на 1-1,5 мм), при температуре охлаждающей воды 40°C уменьшение твердости составляет от 16 до 28 единиц НВ, а толщины сорбитного слоя – 2-2,5 мм.



а×100



б×100

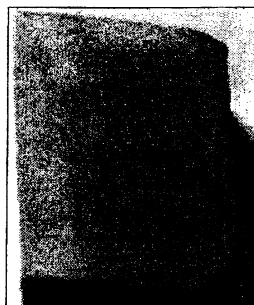
Рис 4. Микроструктура поверхности (а) и сердцевины (б) стали 60ПП, прошедшей регулируемое охлаждение с температуры горячей штамповки.

При охлаждении поковки до комнатной температуры в воде температурой 18-20°C в течении 15 минут микроструктура шестерни представляет собой сорбит по всему сечению с твердостью на поверхности 33...35 HRC (321 НВ) и твердостью в сердцевины 32...33 HRC (302 НВ). При последующем высоком отпуске или нормализации таких поковок достигается равновесная мелкозернистая структура с заданной твердостью. На рис 5 представлены макрошлиф (5.а) и микроструктура поковки прошедшей ускоренной охлаждение до комнатной температуры и последующую нормализацию с температуры 780°C. При этом обеспечивает структуру сорбитобразного перлита по всему сечению с твердостью 170 -179 НВ.

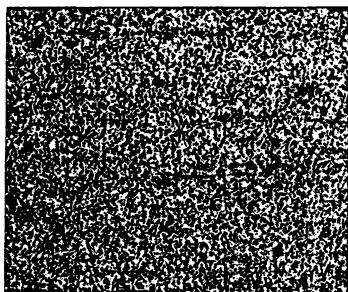
Выводы:

1. Регулирование скорости охлаждения поковок из стали 60ПП после операции горячего формообразования позволяет получать структуру с заданными свойствами на заданную глубину и наследственно мелкое зерно аустенита.

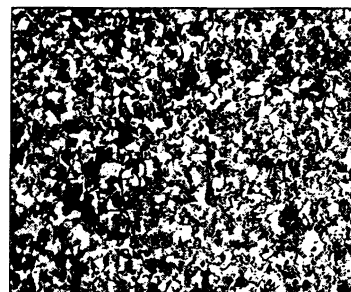
2. Укоренное управляемое охлаждение до комнатной температуры обеспечивает равномерную по сечению структуру сорбита с твердостью 32-35 HRC, а последующая нормализация с температуры 760 – 780°C позволяет получить равномерную структуру по сечению поковки перлита сорбитообразного и скрытопластинчатого с твердостью 170 -179 HB.



а



в × 100



в × 500

Рис. 5. Макрошлиф и микроструктура поковки из стали 60ПП, прошедшей ускоренное управляемое охлаждение и отжиг 780°C.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шепеляковский К.З. Упрочнение деталей машин поверхностной закалкой при индукционном нагреве. М. Машиностроение 1972; Садовский В.Д. Структурная наследственность в стали. М. Металлургия 1973; 2. Ракомсин А.П., Гурченко П.С., Индукционный нагрев и управляемое охлаждение – эффективный способ упрочнения деталей. // Автомобильная промышленность, 2000, №4, с29 – 31; 3. Ракомсин А.П., Гаухштейн И.С., Гурченко П.С., Михлюк А.И. Исследования и испытания шестерен автомобилей МАЗ из сталей пониженной прокаливаемости. Сборник докладов международной научно-технической конференции «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии в машиностроении» 27 – 31 мая 2002 года, г. Минск, БГПА Сб. научн. трудов. Вып. 18. Мн. УП «Технопринт», 2002, С 150 – 155

УДК 620.16: 629.018

Е.К. Почтенный

НАГРУЖЕННОСТЬ И РАСЧЕТ РЕСУРСА КОНСТРУКЦИЙ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

*Институт механики и надежности машин НАН Беларуси.
Минск, Беларусь*

Элементы конструкций, определяющие ресурс машин по сопротивлению усталости, работают в условиях регулярного и нерегулярного нагружения.

При регулярном нагружении, когда цикл нагружения не изменяется по своим параметрам до разрушения, оценка ресурса вплоть до построения вероятностных диаграмм усталости разработана [1-3] с использованием уравнений кривой усталости: