

## ЛИТЕРАТУРА

1. В. Г. Демидов Свойства и структура покрытий из порошков типа ПГ-СР, полученных плазменным способом // *Металловедение и термическая обработка*. — 1997. — № 8. — С. 26.

УДК 621.785.545:62-272

**А.И. Гордиенко, В.В. Ивашко,  
А.И. Тарарук, И.И. Вегера**

### **ПОВЕРХНОСТНАЯ СКОРОСТНАЯ ЭЛЕКТРОТЕРМООБРАБОТКА РЕССОР С ПРИМЕНЕНИЕМ ТВЧ**

*«Физико-технический институт» НАН Беларуси  
Минск, Беларусь*

Рессоры автомобилей и других транспортных средств работают в тяжелых условиях и относятся к числу деталей, на изготовление которых затрачивается большое количество стального проката. Однако применяемые в настоящее время стали и технологии упрочняющей термообработки этих деталей не претерпели принципиальных усовершенствований за последние годы. Прогресс в этой области техники состоял лишь в увеличении степени легирования стали и конструктивном улучшении так называемых закалочных барабанов. В целом для термической обработки в рессорном производстве характерны низкая степень автоматизации, тяжелые условия труда термистов и экологически неблагоприятная атмосфера [1].

По условиям работы рессор необходимо, чтобы рессорные листы имели высокое сопротивление статическим и циклическим нагрузкам, релаксации и истиранию. При изготовлении упругих элементов из углеродосодержащих сталей, работающих в условиях статических и циклических напряжений, необходимо учитывать возможность появления хрупкого разрушения, которое зависит от строения мартенсита, содержания атомов внедрения, морфологии выделившихся фаз, состояния границ зерен [2]. Поэтому улучшение прочностных характеристик стали возможно при устранении отрицательных свойств перечисленных факторов, путем применения новых более совершенных методов термической обработки.

Для увеличения усталостной прочности тяжело нагруженных деталей за рубежом и на отечественных предприятиях применяют, преимущественно такие виды упрочнения, как объемная термообработка, химико-термическая

(цементация, нитроцементация, никотрирование и др.), поверхностная термообработка ТВЧ и др.

При объемной термообработке распределение твердости по сечению детали не поддается регулированию, и зависит от прокаливаемости стали и размеров сечения.

Детали со сквозной закалкой по сечению по сравнению с деталями после ХТО и поверхностной термообработкой обладают повышенной хрупкостью при перегрузках и ударах, такие детали обычно подвергаются улучшению, т.е. закалке и высокому отпуску.

Улучшение, как вид упрочнения, не реализует в полной мере ресурс прочности стали и не обеспечивает необходимую поверхностную износостойкость детали из-за низкой твердости.

Химико-термическая обработка позволяет повысить усталостную прочность изделия по сравнению с улучшением за счет получения поверхностного слоя с высокой твердостью, износостойкостью и вязкой сердцевиной. Этим способом можно получить по всей поверхности упрочненный слой одинаковой толщины, отличающийся от сердцевины детали строением структуры и химическим составом.

К недостаткам этой технологии следует отнести ее высокую стоимость, большую длительность процесса, получение ограниченной толщины упрочненного слоя, выделение в окружающую среду вредных веществ, высокую энергоемкость.

Поверхностная термообработка ТВЧ, как и ХТО, применяется в машиностроении для получения изделий с твердым износостойким слоем и вязкой сердцевиной.

В отличие от ХТО, поверхностная термообработка ТВЧ позволяет получить упрочненный слой от 1 мм и более в пределах глубины прокаливаемости стали. Поверхностный слой, упрочненный термообработкой ТВЧ на оптимальную глубину, в сочетании с вязкой сердцевиной создает такое распределение прочностных свойств стали по сечению, которое более полно соответствует распределению напряжений, возникающих при воздействии на изделие предельных нагрузок. Наряду с максимальной статической прочностью изделие получает дополнительный запас вязкости, что увеличивает его усталостную прочность. Скоростная электротермообработка с применением индукционного нагрева, позволяет использовать суммарное действие таких упрочняющих факторов, как измельчение зерна аустенита и создание поверхностно-упрочненного слоя, с высокой твердостью и со значительными сжимающими напряжениями [3].

К особенностям этого метода, следует отнести низкую себестоимость процесса, высокую скорость нагрева, позволяющую резко сократить длитель-

дость цикла термической обработки, возможность полной автоматизации процесса нагрева, закалки и отпуска, меньшую энергоемкость термообработки. Повышение долговечности рессор путем поверхностной закалки ТВЧ связано с определенными трудностями. Поэтому до последнего времени термическая обработка листов для рессор существенно не отличается от традиционной: закалка с 860...900°C в масле, отпуск при 520... 540°C в течении 2,5 часов, охлаждение на воздухе с последующим наклепом дробью.

В данной статье предлагается новый способ термического поверхностного упрочнения отечественных рессор. Для проведения исследований была выбрана полоса из стали 50ХГФА.

Для производства рессор сталь 50ХГФА наиболее предпочтительна среди других сталей, так как она менее чувствительна к перегреву, чем углеродистая или хромомарганцевая, что очень существенно в условиях производства рессор, где отклонение температур от заданных интервалов при прокатке и термообработке очень часты. При этом она имеет более стабильные механические свойства.

Поверхностную закалку можно получить при непрерывном нагреве и спрейерном охлаждении. Такой метод закалки не требует оборудования большой мощности, но требует применения специальных сред, приближающихся по скорости охлаждения к маслу. Спрейерное охлаждение маслом на воздухе осуществить не возможно из-за его возгорания.

Предыдущий опыт показал, что воздушная смесь, как охлаждающая среда для закалки данной стали непригодна, так как колебания давления сжатого воздуха в магистрали изменяют в широких пределах соотношение состава водовоздушной смеси  $\alpha$ , следовательно, и скорость охлаждения. С увеличением скорости охлаждения образца при закалке возрастает вероятность образования микротрещин, которые могут стать причиной начала хрупкого разрушения.

Эмульсионные жидкости, приближающиеся по охлаждающим свойствам к маслу, в нашей республике не производятся, поэтому в ходе выполнения работ был использован малоизученный способ поверхностной закалки под слоем масла.

Для осуществления способа было спроектировано и изготовлено специальное устройство, позволяющее перемещать образец в горизонтальном направлении и регулировать скорость перемещения его относительно индуктора.

Исследование структуры и свойств в зависимости от технологии и режимов термической обработки, проводили на полосах, полученных ТМО по технологии Минского рессорного завода, изготовленных из стали 50ХГФА, толщиной 10 мм и шириной 45 мм. В исходном состоянии полоса имела:

твердость сердцевины HRC 35...40; толщину обезуглероженного слоя с содержанием углерода до 0,3% в пределах 0,07 — 0,15 мм; твердость поверхности обезуглероженного слоя 230...365 HV. Чтобы исключить влияние обезуглероженного слоя на результаты испытаний, образцы подвергались двухсторонней шлифовке. Сравнительным усталостным испытаниям подверглись образцы, обработанные по трем режимам.

Образцы первой партии, как базовые, были термообработаны по технология Минского рессорного завода: закалка с 860...900°C в масле, отпуск при 520... 540°C в течении 2,5 часов, охлаждение на воздухе.

Образцы второй и третьей партии в исходном состоянии подвергались высокочастотной закалке. Высокочастотная закалка образцов проводилась на ламповом генераторе ВЧГ-60/0,066 в щелевом индукторе непрерывно-последовательным методом. Образцы после закалки ТВЧ отпускались в шахтной печи при температуре 180...200°C с выдержкой 2 часа, а затем охлаждались на воздухе.

Отпуск поверхностно-упрочняемых полос рессор в отличии от стандартных режимов термической обработки этих деталей должен быть низкотемпературным. После такого отпуска эффект измельчения зерна проявляется наиболее сильно, а поверхностные остаточные сжимающие напряжения максимальны. Однако понижение температуры отпуска приводит к повышению хрупкости поверхностного слоя и уменьшению сопротивления просадке. Поэтому одной из задач данного исследования было подобрать режим низкого отпуска, после проведения которого пластичность рессорных листов и их сопротивление просадке были равны или превышали бы значения этих характеристик после обработки по стандартному режиму.

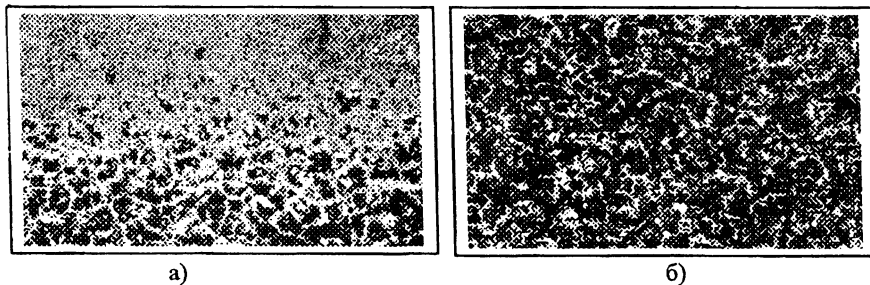
Имеющиеся экспериментальные данные [4] свидетельствуют о том, что в закаленных железуглеродистых сплавах, содержащих от 0,5 до 1,23%С, при скоростном индукционном нагреве протекают те же фазовые превращения, что и при нагреве стали с небольшими скоростями: распад мартенсита, превращение остаточного аустенита и карбидное превращение на третьей стадии отпуска. Схема процессов отпуска при скоростном нагреве в легированной и углеродистой стали, если не считать образования специальных карбидов, при определенных концентрациях легирующих элементов — одинаковая. Поэтому технологически выгодно вместо печного отпуска применять скоростной электроотпуск, при котором в результате повышения температуры можно уменьшить время отпуска от 2 ч до нескольких секунд.

Толщина закаленного слоя, его прочностные свойства и прочностные свойства сердцевины определяют прочность рессоры и величину остаточных напряжений сжатия. Причем, остаточные напряжения тем больше, чем

тоньше закаленный слой, а прочность повышается только при увеличении толщины закаленного слоя до определенного размера. Для поверхностно закаленных деталей, работающих на изгиб, в ФТИ НАН Б разработан специальный метод определения допустимого распределения свойств по сечению, обеспечивающего при заданных свойствах поверхности максимальную прочность всей детали [5].

Испытание образцов на усталостную прочность проводили в испытательном центре Минского автомобильного завода на стенде немецкой фирмы «Schepk» с симметричным знакопеременным циклом нагружения от гидропривода с частотой приложения нагрузки 3 Гц/с. Значения  $\sigma_R$  были определены на компьютере с помощью программы «SIGMA». В результате были получены следующие значения:  $\sigma_R=204$  МПа для образцов обработанных по 1 режиму;  $\sigma_R=263$  МПа для образцов обработанных по 2 режиму;  $\sigma_R=320$  МПа для образцов обработанных по 3 режиму.

Твердость и микроструктура рессор в поперечном сечении изменяются следующим образом: у поверхности рессоры располагается закаленный слой (рис. 1а) с твердостью HRC 57–60, представляющий собой скрытоигольчатый мартенсит с участками структурно-свободного феррита. Глубина закаленного слоя, т.е. расстояние от поверхности до 50% зоны мартенсита, составляет приблизительно 115 мкм. Переходный слой (рис. 1а) имеет структуру троостомартенсита скрытоигольчатого, с твердостью HRC 50–57. Микроструктура сердцевины (рис. 1б), представляет собой сорбит с твердостью HRC 38–45.



*Рис.1. Микроструктуры стали 50ХГФА после поверхностного упрочнения*

В результате исследований были определены режимы поверхностного индукционного упрочнения рессор из стали 50ХГФА, которые позволяют получить в рессорных листах высокопрочное состояние за счет измельчения зерна и создания в поверхностных слоях значительных остаточных сжимающих напряжений. Оптимизация параметров упрочняющей термообработки

поверхностного нагрева позволила получить оптимальную глубину упрочняемого слоя. В сочетании с вязкой сердцевиной он создает распределение прочностных свойств стали по сечению, которые соответствуют распределению напряжений, возникающих при воздействии на изделие предельных нагрузок. Было показано, что предел выносливости третьей партии образцов, а следовательно и ее долговечность, выше предела выносливости первой партии образцов, обработанных по традиционной технологии. Таким образом, получение в рессорах высокопрочного состояния позволяет существенно повысить их долговечность или уменьшить их металлоемкость при сохранении долговечности, требуемой по техническим условиям.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шепеляковский К.З., Исмаилов Р.Р., Литвин А.Н., Вишневецкий Н.И., Табака В.И., Русин В.А. Новая технология термической обработки рессорных листов грузовых автомобилей // *Металловедение и термическая обработка металлов*. — 1992. — №2, — С. 11–14.
2. Рахштадт А.Г. Пружинные стали и сплавы. М.: *Металлургия*, 1982. — 400 с.
3. Огневский В.А., Островский Г.А., Рыскинд А.М., Шкляров И.Н. Упрочнение листовых рессор с применением индукционного нагрева // *Металловедение и термическая обработка металлов*. — 1984. — №7. — С. 22–27.
4. Белоус М.В., Черешен В.Т., Васильев М.А. Превращение при отпуске стали. — М.: *Металлург*, 1973. — С. 149–156.
5. Бодяко М.Н., Тарарук А.И., Гордиенко А.И., Семенюк Г.А. Способ термической обработки изделий. — Авторское свидетельство СССР № 1276673, С21D1/78; Заявл. 17.07.85.; Оpubл. 15.08.86.

УДК 621.793

О.Г. Девойно, М.А. Кардаполова

### ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОРЕЛЬЕФА В ПРОЦЕССАХ ЛАЗЕРНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

Одной из наиболее широко применяемых разновидностей лазерной обработки является поверхностное легирование. С точки зрения получения вы-