

УДК 621.78: 669.01

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ ШЛИЦЕВЫХ ВАЛОВ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ

**А.А. Андрушевич, к.т.н., доцент, И.В. Одерий**

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»<sup>2</sup>,  
г. Минск, Республика Беларусь*

### **Введение**

Применяемые материалы и технологии упрочнения стальных деталей автотракторной техники достигли своего предела в получении требуемой конструкционной прочности и износостойкости и требуют дальнейшего совершенствования [1,2]. Наличие абразивной среды, значительных ударных нагрузок, высоких напряжений и ряда других требований, обусловили поиск новых подходов для повышения свойств конструкционных сталей путём формирования в них объёмного микро - и наноструктурного состояний [3]. Повышение надёжности деталей представляет актуальную задачу, которая может быть решена только при повышении прочностных свойств и сохранении пластичности применяемых конструкционных сталей.

### **Основная часть**

Эффективное формирование мелкодисперсных структур может быть достигнуто в результате термического воздействия за счёт фазовых превращений в процессе охлаждения при закалке конструкционных сталей. Для получения оптимального сочетания прочности и повышенного сопротивления хрупкому разрушению деталей необходимо формирование в процессе термической обработки стали объёмной ультрадисперсной структуры с высокой плотностью дислокаций и мельчайшими карбидными включениями путём рационального выбора технологических режимов [3]. Механические свойства стали зависят от её структуры и состава. Применяемые стали для изготовления деталей, должны обладать высоким комплексом механических свойств, а не высоким значением какого-либо одного свойства [1,2,4].

Одной из быстро изнашиваемых ответственных деталей является шлицевой вал привода рабочих органов, который изготавливают из улучшаемых конструкционных сталей. В деталях, испытывающих знакопеременные нагрузки, металл должен иметь высокое сопротивление усталости, а трущиеся поверхности - сопротивление износу. При выборе марки стали исходят из общих эксплуатационных, технологических и экономических требований. Эксплуатационная стойкость валов определяется усталостной прочностью в условиях кручения и изгиба, контактной прочностью и износостойкостью [4]. Улучшаемые стали имеют высокий предел текучести,

малую чувствительность к концентраторам напряжений, а при многократном приложении нагрузок, высокий предел выносливости и достаточный запас вязкости [1,2]. Обычная термическая обработка таких сталей – закалка в масле и высокий отпуск. При температуре отпуска  $600^{\circ}\text{C}$  сталь 40X имеет -  $\sigma_b=860\text{МПа}$ ,  $\delta_b=14\%$ ,  $KCU = 1,47\text{ МДж/м}^2$ , 26-28 HRC и используется для шлицевых валов средней нагруженности.

Термическая обработка шлицевых валов трактора Т-40, диаметром 30мм из стали 40X, выполнялась на установке ТВЧ с различной интенсивностью охлаждения. Предварительно для повышения усталостной прочности валы подвергали улучшению: закалке с температуры  $850\pm 5^{\circ}\text{C}$  в масло и высокому отпуску при температуре  $550-560^{\circ}\text{C}$ . Время аустенизации принималось 15 минут. Последующее упрочнение шлицов осуществляли поверхностной индукционной закалкой (температура нагрева  $880-900^{\circ}\text{C}$ ) на толщину закаленного слоя 1,5-2мм водяным душированием. Температура воды составляла  $10\pm 3^{\circ}\text{C}$ , время охлаждения - в интервале 2-5с в зависимости от толщины изделия. Низкотемпературный отпуск валов проводился при  $180 - 200^{\circ}\text{C}$ .

Исследование микроструктуры упрочненных поверхностей после закалки, высокого и низкого отпуска проводили на образцах, вырезанных из шлицевой части валов. Микроструктуры упрочненного слоя и сердцевинны изучались на металлографическом микроскопе "МИМ-8". Упрочненные слои исследовались на сканирующем электронном микроскопе высокого разрешения "Mira" при увеличении  $\times 5000$  и  $50000$ . Твердость по Роквеллу определялась на твердомере ТК14-250.

Сталь 40X в исходном состоянии имеет феррито-перлитную микроструктуру, что не обеспечивает требуемых механических и эксплуатационных свойств. Поверхностная твердость упрочненного слоя после термического упрочнения валов составила 56-58 HRC, а сердцевина имела твердость 36-38 HRC, что превышает значения твердости в серийных деталях соответственно на 35-40%.

Микроструктура улучшенной стали 40X, состоящая из сорбита и отдельных включений троостита, представлена на рисунке 1,а. Структура в зоне шлица после поверхностной закалки и низкого отпуска, приведена на рисунке 1,б. Она, в основном, представляет отпущенный мартенсит различной степени дисперсности в зависимости от режимов охлаждения. Сердцевина вала имела практически сорбитную микроструктуру, обеспечивая необходимую вязкость.

Результаты исследований упрочненного слоя стали 40X с углубленным изучением микроструктуры отпущенного мартенсита при больших увеличениях, выявили предпосылки для определения влияния размеров игл мартенсита на её механические свойства. Структура характерна для мартенсита реечного типа со средним поперечным размером реек 250 – 350нм.

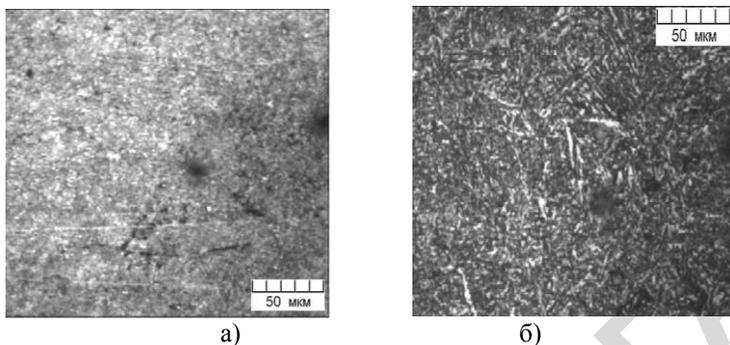


Рис. 1 – Микроструктура стали 40Х:

а - после объёмной закалки в масло и высокого отпуска. Структура - сорбит отпуска со светлыми включения троостита; б - после поверхностной закалки и низкого отпуска. Структура - мартенсит отпуска

Только при увеличениях  $\times 50000$  методом электронной микроскопии установлена фрагментация игл мартенсита. В результате исследований определено, что мартенситные иглы частично фрагментированы, размер фрагментов находится в диапазоне 20 – 150 нм, их средний размер составляет 40 – 50 нм. При этом твердость и прочность увеличиваются без снижения характеристик пластичности и вязкости конструкционной стали.

### Заключение

1. Исследование процессов формирования элементов наноразмерной структуры и свойств стали 40Х в зависимости от условий термической обработки выявили особенности их образования с учётом применения в авто-тракторной технике.
2. Повышение механических, технологических и эксплуатационных свойств деталей возможно только после получения нанодисперсных структур в результате совершенствования традиционных и разработке новых технологических режимов термического упрочнения.

### Литература

1. Арзамасов, Б.Н. Материаловедение: учебник для вузов /Арзамасов, Б.Н [и др.]. – 8-е изд. – М.: Изд-во МГТУ, 2008. - 648с.
2. Повышение работоспособности деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин /И.Н.Шило [и др.].- Минск: БГАТУ, 2010.-320с.
3. Объёмные нанокристаллические износостойкие детали рабочих органов сельскохозяйственной техники // Г.Ф. Бетенья [и др.].- Вестник Полоцк-

кого гос. ун-та. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. 2012г., № 3, С.46 -51.

4. Плошкин В.В. Материаловедение: учеб. пособие /В.В., Плошкин – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2011. – 463 с.

**УДК 621.436**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА АВТОМОБИЛЬНОГО  
ДИЗЕЛЯ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ СМЕСЕЙ БУТАНОЛА  
С ДИЗЕЛЬНЫМ ТОПЛИВОМ**

**Г.М. Кухаренок, д.т.н., профессор, зав. кафедрой,  
А.Н. Петрученко, к.т.н., доцент**  
*Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь*

Развитие транспортной системы заостряет проблему снабжения транспортных двигателей недорогим, удовлетворяющим экологическим нормам топливом. Возможности расширения производства таких топлив за счет традиционных источников ограничены. В дизельных двигателях широко применяются смеси дизельного топлива с метиловым эфиром жирных кислот рапсового масла. Перспективным считается применение смесей дизельного топлива с бутиловым спиртом, который по своим физико-химическим свойствам наиболее близким к дизельному топливу.

Изменения показателей рабочего цикла при работе на смесевом топливе определяют либо экспериментально, что требует значительных затрат времени и материальных ресурсов, либо с помощью математической модели адекватно, описывающей процессы протекающие в двигателе и обеспечивающий требуемый результат при минимальных затратах.

Исследования проводились для дизельного двигателя 4ЧН 11×12,5 [1], работающего на смесевом топливе с различным количеством бутанола. Применяемая в двигателе РОГ обеспечивает выбросы окислов азота не выше норм устанавливаемых Евро-5. Расчет проводился для тринадцати режимов работы дизеля, на которых проводятся испытания. Максимальное количество бутанола в смесевом топливе достигало 30%.

Для определения индикаторных и экологических показателей дизеля использовались зависимости, приведенные в работах [2, 3]. РОГ оказывает влияние на величины: температуры конца впуска и коэффициента молекулярного изменения. Температура конца впуска находится из выражения [1]: