

С.П. РУДЕНКО, канд. техн. наук,
А.А. ШИПКО, д-р техн. наук,
А.Л. ВАЛЬКО,
Н.П. ТИМОШЕНКО (ОИМ НАНБ)

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СТРУКТУРЫ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ТРАНСМИССИЙ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

Исследования показывают [1, 2], что высокая надежность ответственных зубчатых колес, в значительной степени определяющая работоспособность энергонасыщенной автотракторной техники, может быть достигнута лишь в результате оптимизации структуры упрочненных поверхностных слоев и параметров технологических процессов ХТО. При выполнении исследований [3–5] разработаны критерии оценки качества поверхностно упрочненных зубчатых колес ответственного назначения и установлены новые требования к структурным характеристикам высоконапряженных зубчатых колес трансмиссий энергонасыщенных машин, а также развиты представления о дефектах микроструктуры упрочненных слоев деталей, не выявляемых при общепринятых методах структурных исследований.

Обзор используемой на предприятиях нормативно-технической документации показал, что в применяемых нормативных документах (ГОСТ, ОСТ, СТП, РТМ, заводские инструкции) отсутствует единая методика по контролю качества деталей, упрочненных химико-термической обработкой. Нормативные показатели качества упрочнения, принятые в автотракторной промышленности, не учитывают в полной мере такие структурные характеристики цементованного слоя, как эффективная толщина слоя, содержание и глубина залегания бейнита, карбидов, величина зерна, морфология строения мартенсита. Общепринятые методы металлографического анализа не позволяют выявлять в структуре упрочненных слоев продуктов немартенситного превращения, таких как бейнит, а также структурных составляющих близкого

морфологического строения, которые, по нашим данным, могут приводить к преждевременному выходу из строя высоконапряженных зубчатых колес.

Целью работы являлась разработка состава металлографического реактива, позволяющего в сочетании с данными дюрометрических измерений выявлять и идентифицировать структурные составляющие поверхностно упрочненных слоев, оказывающие влияние на работоспособность высоконапряженных деталей.

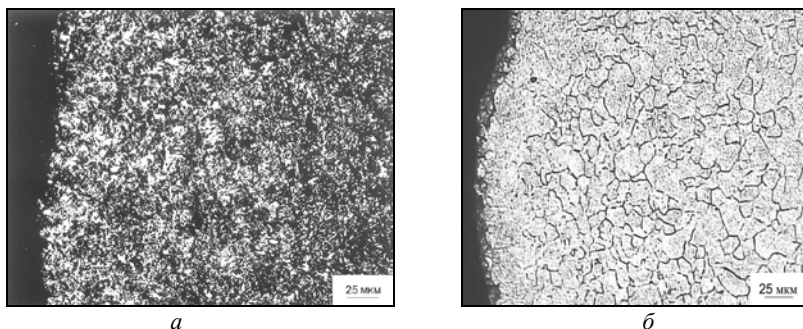
Идентификация микроструктуры упрочненных слоев и сердцевины цементованных деталей представляет собой сложную задачу в связи с изменением концентрации углерода от 0,8–1,0 в поверхностном слое до 0,2–0,35 об. % в сердцевине. Структура цементованных деталей после закалки находится в неравновесном состоянии и содержит мартенсит, остаточный аустенит, карбиды и продукты немартенситного превращения в сочетании, определяемом технологическими режимами процесса химико-термической обработки.

Реактивы для выявления общей структуры стали с повышенным содержанием углерода представляют собой 0,5–6,0 % растворы азотной кислоты в спирте [6] и имеют общее название нитал. Эти реактивы применяют для выявления в термически обработанных сталях структур перлита, сорбита, троостита. Карбидная фаза в данных реактивах не травится. Применение в качестве растворителя амилового спирта при травлении закаленных углеродистых сталей позволяет окрашивать аустенит в желтый цвет, троостит и сорбит – в коричневый, мартенсит в этом случае не травится. Основное достоинство растворов азотной кислоты состоит в выявлении общей микроструктуры цементованных конструкционных сталей, а недостатком является низкая избирательность травления, что не позволяет выявлять структурные составляющие близкого морфологического строения и границы действительного зерна (рисунок 1, а).

Для выявления микроструктуры сталей и чугуна применяется реактив пикрал (4%-й раствор пикриновой кислоты в этиловом спирте), а также смеси реактивов нитал и пикрал в различных соотношениях [7]. После травления в металлографическом реактиве, состоящем из раствора азотной и пикриновой кислот в спирте, надежно выявляются различные по строению составляющие струк-

туры термообработанных сталей – троостит, сорбит, мартенсит, аустенит, однако данный реактив не позволяет дифференцировать низкоотпущенный мартенсит и продукты промежуточного превращения.

Важнейшей характеристикой структуры является величина действительного зерна упрочненного слоя и сердцевины, сформированная в процессе химико-термической обработки. Граница зерна представляет сечение плоскости разграничения кристаллов плоскостью шлифа, а выявляемость границ зерен определяется величиной угла границ смежных зерен. Для выявления границ зерен применяют реактивы с низким поверхностным натяжением. Например, насыщенные водные или спиртовые растворы пикриновой кислоты с малыми добавками поверхностно-активных веществ (ПАВ), в качестве которых используют алкилсульфонат натрия, ПАВ Агепон или моющие средства [6, 7]. Данные реактивы позволяют выявлять границы зерна в структуре конструкционных сталей, но слабо травят основную мартенситно-аустенитную микроструктуру цементованных слоев (рисунок 1, б).



а – после травления в 4%-м спиртовом растворе азотной кислоты; *б* – после травления в разработанном реактиве

Рисунок 1 – Микроструктура цементованного слоя зубчатого колеса из стали 20X2H4A

В результате выполнения данной работы был разработан состав металлографического реактива для дифференцированного выявления структурных составляющих с близкими физико-химическими свойствами, содержащий дистиллированную воду,

пикриновую и азотную кислоты, карбамид и поверхностно-активное вещество, в качестве которого применили лауретсульфат натрия [8].

Пикриновая кислота является продуктом реакции нитрирования фенола и представляет дисперсный порошок желтого цвета. Металлографические реактивы, содержащие пикриновую кислоту, позволяют получить при травлении стали контраст между мартенситом и структурными составляющими немартенситной морфологии. Поверхностно-активное вещество лауретсульфат натрия уменьшает поверхностное натяжение на границе металл-реактив, что позволяет реагентам реактива взаимодействовать избирательно с микрообъемами металла [9]. Установлено, что при концентрации данного поверхностно-активного вещества в растворе более 0,8 мас. % селективное травящее действие пикриновой и азотной кислот подавляется.

Азотная кислота обладает ярко выраженной окислительной способностью, однако при превышении ее концентрации сверх 1,2 мас. % пассивируется поверхность стального образца и образуются оксидные пленки.

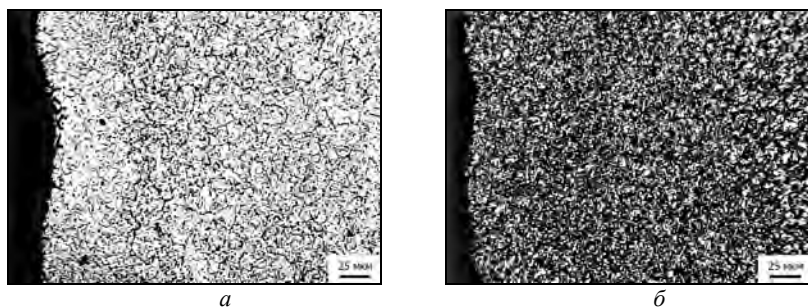
В состав реактива включен карбамид – белое мелкокристаллическое или гранулированное гигроскопичное вещество с содержанием азота 46 мас. %. Введение в состав реактива карбамида позволяет стабилизировать травящее действие раствора на длительное время.

Испытания разработанного реактива проводили на образцах зубчатых колес, изготовленных из конструкционных сталей 25ХГМ, 20ХНР, 20Х2Н4А и прошедших химико-термическую обработку. При травлении образцы погружали в реактив плоскостью шлифа вниз, чтобы продукты химических реакций не препятствовали взаимодействию реактива с металлом. Время травления составляло от 5 до 10 мин в зависимости от температуры раствора, которая варьировалась в диапазоне 20–40 °С. После травления образец промывали в нагретой до 35–45 °С воде, высушивали под струей теплого воздуха и протирали смоченным в этиловом спирте ватным тампоном. Протравленные шлифы просматривали на микроскопе «Микро-200» при увеличении 400 и 1000.

При разработке реактива учитывалась необходимость выявления широкого спектра структурных составляющих цементованных

слоев, в том числе и продуктов промежуточного превращения. К таким структурным составляющим относят бейнит, который при непрерывном охлаждении цементованного слоя в процессе заковки деталей проявляется в виде двух морфологий – зернистый и пластинчатый [10]. Установлено [5], что присутствие в слое бейнитной фазы в количестве 10–20 % приводит к снижению долговечности высоконапряженных зубчатых колес в два раза.

На рисунке 2, *а* приведена микроструктура цементованного слоя образца с включениями зернистого бейнита по границам действительного зерна. На рисунке 2, *б* приведена мартенситно-аустенитная микроструктура цементованного слоя этого же образца, выявленная травлением в 4%-м спиртовом растворе азотной кислоты. Продукты немартенситного превращения в данном случае не обнаружены.

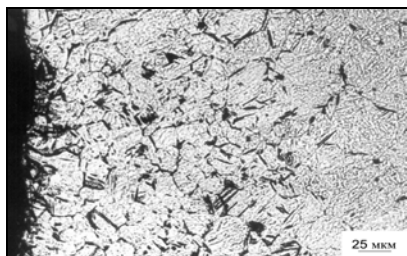


а – травление в разработанном реактиве; *б* – травления в 4%-м спиртовом растворе азотной кислоты

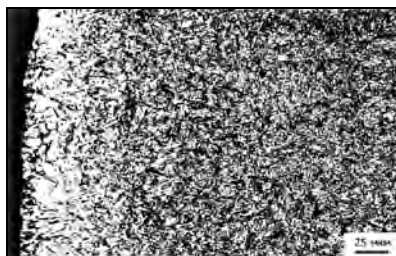
Рисунок 2 – Микроструктура цементованного слоя зубчатого колеса с включениями зернистого бейнита. Сталь 20ХНР

На рисунке 3, *а* показана микроструктура образца с включениями пластинчатого бейнита по границам и в объеме зерна после травлением в разработанном реактиве. Рисунок 3, *б* иллюстрирует микроструктуру цементованного слоя данного образца после травления в реактиве нитал. Бейнитная составляющая также не выявляется.

На рисунке 4 приведена микроструктура цементованного слоя, не содержащая продуктов немартенситного превращения.



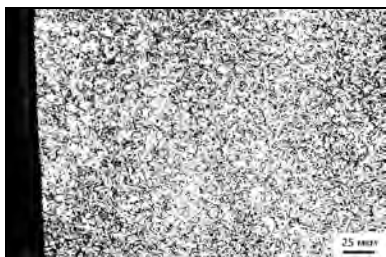
a



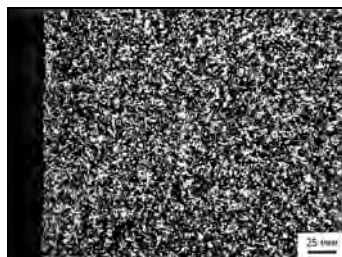
б

a – после травления в разработанном реактиве; *б* – после травления в 4%-м спиртовом растворе азотной кислоты

Рисунок 3 – Микроструктура цементованного слоя с включениями пластинчатого бейнита. Сталь 20ХГНР



a



б

a – после травления в разработанном реактиве; *б* – после травления в 4%-м спиртовом растворе азотной кислоты

Рисунок 4 – Бездефектная микроструктура цементованного слоя. Сталь 20ХН2М

Из сопоставления микроструктур на рисунках 1–4 очевидно, что разработанный реактив позволяет повысить избирательность травления дисперсных структурных составляющих цементованного слоя и надежно выявлять в упрочненном слое дефекты структурного строения, а также границы действительного зерна, сформировавшегося в результате полного цикла химико-термической обработки.

Вывод

Разработан металлографический реактив для исследования структуры, позволяющий контролировать качество цементованных

зубчатых колес трансмиссий автотракторной техники путем дифференцированного выявления структурных составляющих, не определяемых общепринятыми методами, но в значительной степени влияющих на работоспособность высоконапряженных деталей.

Литература

1. Технология производства и методы обеспечения качества зубчатых колес и передач / В.Е. Антонюк [и др.]: под общ. ред. В.Е. Старжинского, М.М. Кане. – СПб.: Профессия, 2007. – 832 с.

2. Зинченко, В.М. Инженерия поверхности зубчатых колес методами химико-термической обработки / В.М. Зинченко. – М.: Из-во МГТУ им. Баумана, 2001. – 303 с.

3. Сусин, А.А. Качество цементованных сталей и технология изготовления зубчатых колес энергонасыщенной автотракторной техники / А.А. Сусин // Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века: тезисы межд. науч.-техн. конф., Севастополь, 11-17 сент. 2000 г. – Донецк, 2000. – С. 114–120.

4. Сусин, А.А. Влияние дефектов микроструктуры упрочненных слоев на предельное состояние зубьев цементованных зубчатых колес / А.А. Сусин, С.П. Руденко, Е.И. Мосунов // Оценка и обоснование продления ресурса элементов конструкций: тезисы межд. науч.-техн. конф. Киев, 6-9 июня 2000 г. – ИПП НАН Украины, 2000. – С. 95–98.

5. Руденко, С.П. Исследование сопротивления контактной усталости поверхностно упрочненных зубчатых колес / С.П. Руденко // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2009. – № 4. – С. 48–53.

6. Коваленко, В.С. Металлографические реактивы / В.С. Коваленко – М.: Металлургия, 1981. – 120 с.

7. Беккерт М., Клемм Х. Справочник по металлографическому травлению. – М.: Металлургия, 1979. – С. 83–85.

8. Металлографический реактив для выявления микроструктуры цементованных конструкционных сталей / А.Л. Валько, С.П. Руденко, Е.И. Мосунов, А.И. Михлюк; заявка № 20101136 РБ от 23.07.2010. Инв. № 2015.

9. **Абрамзон, А.А.** Поверхностно-активные вещества. Свойства и применение / А.А. Абрамзон. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1981. – 304 с.

10. **Блантер, М.Е.** Теория термической обработки: учебник для вузов / М.Е. Блантер. – М.: Металлургия, 1984. – 328 с.

УДК 621.7

Г.А. ТКАЧЕНКО (БНТУ)

КОНСТРУКЦИОННАЯ ПРОЧНОСТЬ И СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ ПРИ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Наиболее распространенными технологиями повышения конструкционной прочности стальных изделий являются химико-термическая обработка (ХТО) и термическая обработка (ТО). Основной технологией считается цементация специальных низкоуглеродистых сталей с последующей закалкой и низким отпускком. В результате такой обработки формируется твердый износостойкий слой, а сердцевина изделия сохраняется мягкой, вязкой и достаточно прочной, чтобы сопротивляться нагрузкам без разрушения. Однако если подобную технологию применить для деталей из среднеуглеродистых сталей, где прокаливаемость выше, то вязкость, а, следовательно, надежность изделия будет низкой, так как мартенсит является хрупкой структурой, а применение отпуска на троостит или сорбит не обеспечит высокую износостойкость (долговечность) поверхности и сердцевины готовому изделию. Существенными технологическими недостатками цементации являются энерго- и ресурсоемкость, длительное время обработки стального изделия, структура стали после длительной ХТО крупнозернистая и требует дополнительных операций для уменьшения дисперсности.

Поэтому в последнее время появилось много научно-исследовательских работ, посвященных разработкам технологии печной термоциклической обработки (ТЦО) металлов и сплавов (В.К. Федюкин, М.Е. Смагоринский, С.Ф. Забелин, Л.Г. Ворошнин,