

The reactant for microstructure quality assurance of cemented layer and a core of transmissions gears of the motor and tractor technique, enabling to reveal and identify the structural components influencing working capacity of details, is offered.

С. П. РУДЕНКО, А. А. ШИПКО, А. Л. ВАЛЬКО, Н. П. ТИМОШЕНКО, ОИМ НАН Беларуси

УДК 669.18.33:621.78

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СТРУКТУРЫ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ТРАНСМИССИЙ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

Исследования показывают [1, 2], что высокая надежность ответственных зубчатых колес, в значительной степени определяющих 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. К таким структурным составляющим относятся, например, бейнит, который при непрерывном охлаждении цементованного слоя в процессе закалки деталей проявляется в виде двух морфологий – зернистый и пластинчатый [6]. Установлено [4], что присутствие в упрочненном слое бейнитной фазы в количестве 10–20% приводит к снижению долговечности высоконапряженных зубчатых колес в 2 раза.

Вместе с тем, анализ применяемой на машиностроительных предприятиях нормативно-технической документации показал, что в нормативных документах (ГОСТ, ОСТ, СТП, РТМ, заводские инструкции) отсутствует единая методика по контролю качества деталей, упрочненных химико-термической обработкой. Нормативные показатели качества упрочнения, принятые, например, 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 продукты промежуточного превращения (бейнит), а также дифференцировать структурные составляющие близкого морфологического строения, которые, по нашим данным, могут приводить к преждевременному выходу из строя высоконапряженных зубчатых колес. Это создает определенные трудности при оценке качества структуры упрочненных слоев высоконапряженных зубчатых колес.

Целью работы являлась разработка металлографического реактива, позволяющего в сочетании с данными дюрOMETрических 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 об.% 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%-ные растворы азотной кислоты в спирте [7] и имеют общее название нитал. Данные реактивы применяют в основном 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 – выявление общей микроструктуры цементованных конструкционных сталей, а недостаток – низкая избирательность травления, что не позволяет выявлять структурные составляющие близкого морфологического строения и границы действительного зерна (рис. 1, *a*).

Для выявления микроструктуры стали и чугуна применяются реактив пикрал (4%-ный раствор пикриновой кислоты в этиловом спирте), а также смеси реактивов нитал и пикрал в различных соотношениях [8]. После травления в металлографическом реактиве, состоящем из раствора азотной и пикриновой кислот в спирте, надежно выявляются различные по строению составляющие структуры термообработанной стали – 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 собой сечение плоскости разграничения кристаллов плоскостью шлифа, а выявляемость границ зерен определяется величиной угла границ смежных зерен. Для обнаружения границ зерен применяют реактивы с низким поверхностным натяжением. Например, насыщенные водные или спиртовые растворы пикриновой кислоты с малыми добав-

ками поверхностно-активных веществ (ПАВ), в качестве которых используют алкилсульфонат натрия, ПАВ Агепон или моющие средства [7, 8]. Данные реактивы позволяют выявлять границы зерна в структуре конструкционных сталей, но слабо травят основную мартенситно-аустенитную микроструктуру цементованных слоев (рис. 1, *б*).

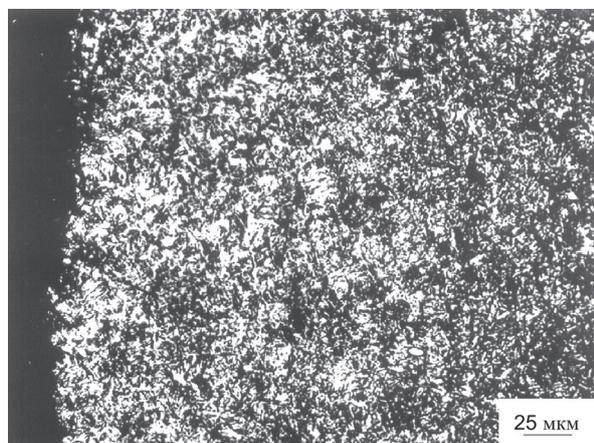
Для дифференцированного выявления структурных составляющих с близкими физико-химическими свойствами был разработан состав металлографического реактива, содержащий растворенные в дистиллированной воде пикриновую и азотную кислоты, карбамид и поверхностно-активное вещество – лауретсульфат натрия [9].

Пикриновая кислота является продуктом реакции нитрирования фенола и представляет собой 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 [10]. 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 более 1,2 мас.% пассивируется поверхность стального образца и образуются оксидные пленки.

В состав реактива включен карбамид – белое мелкокристаллическое или гранулированное гигро-



a



б

Рис. 1. Микроструктура цементованного слоя зубчатого колеса из стали 20X2H4A: *a* – после травления в 4%-ном спиртовом растворе азотной кислоты; *б* – после травления в разработанном реактиве

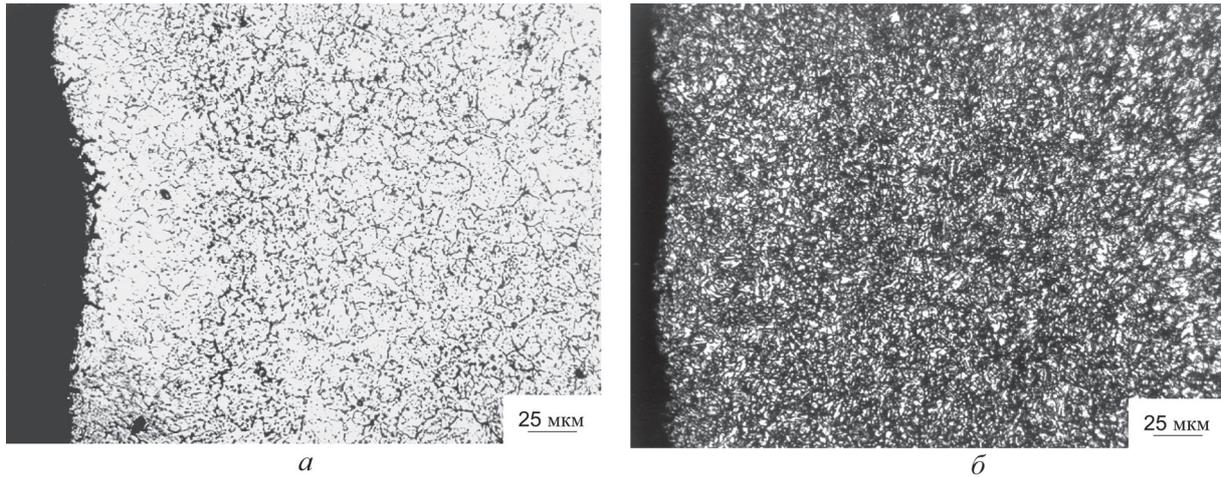
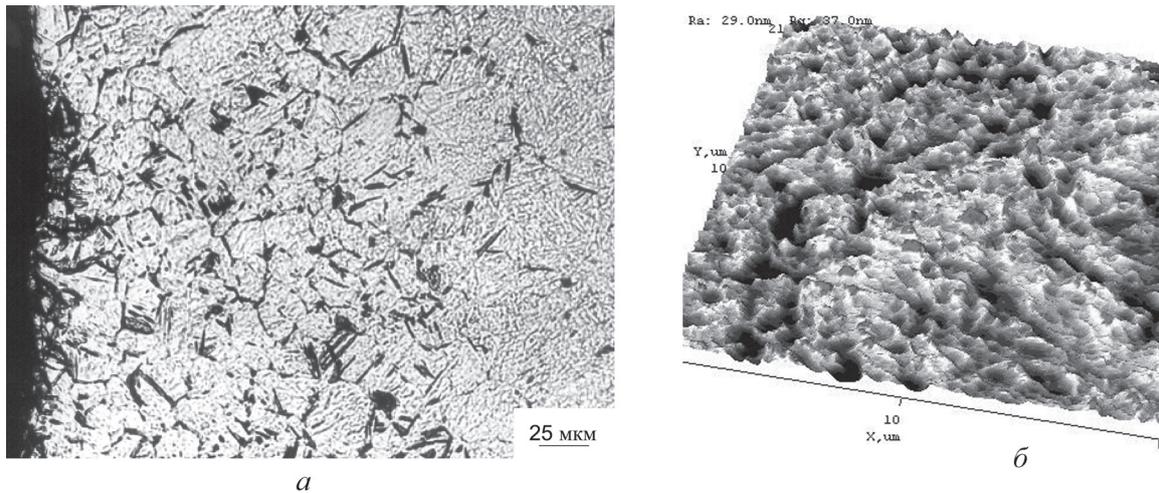


Рис. 2. Микроструктура цементованного слоя зубчатого колеса с включениями зернистого бейнита. Сталь 20ХГНР: *a* – травление в разработанном реактиве; *б* – травление в 4%-ном спиртовом растворе азотной кислоты

скопичное 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 20ХН2М, 20ХГНР, 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



20.8 x 20.8 μm
A = 209.4 nm
Ra = 16.7 Rq = 21.8

Рис. 3. Микроструктура цементованного слоя с включениями пластинчатого бейнита. Сталь 20ХГНР: *a* – травление в разработанном реактиве. $\times 400$; *б*, *в* – атомно-силовая топография. $\times 5000$

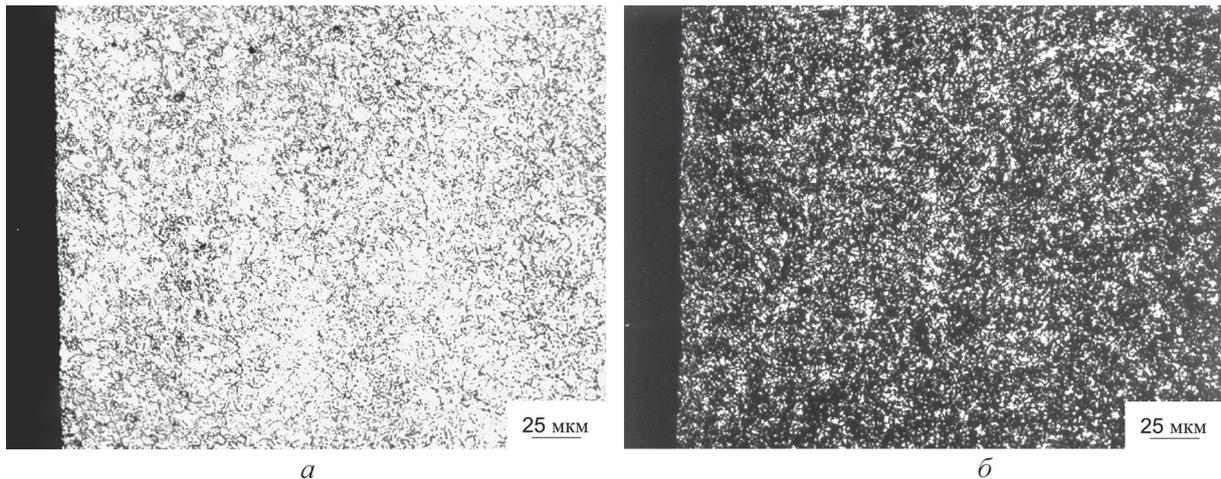


Рис. 4. Бездефектная микроструктура цементованного слоя. Сталь 20ХН2М: *а* – после травления в разработанном реактиве; *б* – после травления в 4%-ном спиртовом растворе азотной кислоты

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 – бейнита. В цементованных слоях бейнит, как правило, обнаруживается в узких приграничных объемах бывших аустенитных зерен в соседстве с карбидными, нитридными выделениями или неметаллическими включениями. Микроструктура упрочненного слоя стали 20ХГНР с включениями зернистого бейнита по границам действительного зерна, выявленная травлением в разработанном металлографическом реактиве, приведена на рис. 2, *а*. Отличительная особенность травления обусловлена высокой скоростью растворения бейнитной фазы, которая после травления выявляется как темный участок на фоне светлой мартенситной матрицы с игольчатым рельефом. Микроструктура цементованного слоя этого же образца, выявленная травлением в 4%-ном спиртовом растворе азотной кислоты, содержит мелко-игольчатый мартенсит и аустенит остаточный 2–3-го баллов (рис. 2, *б*). Бейнитная составляющая и границы зерен в этом случае не выявляются.

В случае травления микроструктуры цементованного слоя с включениями пластинчатого бей-

нита (рис. 3) бейнитная фаза обнаруживается как по границам зерен, так и в самих зернах в виде темных включений. Следует отметить, что темные включения (рис. 3, *б*, *в*) представляют собой углубления на поверхности шлифа, растравленные в месте залегания бейнитной фазы.

Микроструктура цементованного слоя, не содержащая продуктов немартенситного превращения, представлена на рис. 4. Из сопоставления микроструктур на рис. 1–4 видно, что разработанный реактив обладает высокой избирательностью при травлении дисперсных структурных составляющих цементованного слоя и позволяет выявлять в упрочненном слое не только продукты промежуточного превращения, но также и границы действительного зерна, сформировавшегося в результате полного цикла химико-термической обработки.

С применением предлагаемого металлографического реактива разработаны шкалы эталонных микроструктур, регламентирующие содержание бейнитной фазы, и на их основе – руководящие технические материалы [11] на контроль качества микроструктуры цементованного слоя и сердцевин зубчатых колес трансмиссий автотракторной техники.

Выводы

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: Учеб. пособ. / Под общ. ред. В. Е. Старжинского, М. М. Кане. – Санкт-Петербург, 2007.
2. З и н ч е н к о В. М. Инженерия поверхности зубчатых колес методами химико-термической обработки. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2001.
3. С у с и н А. А. Химико-термическое упрочнение высоконапряженных деталей. Мн.: Беларуская навука, 1999.
4. Р у д е н к о С. П. Исследование сопротивления контактной усталости поверхностно-упрочненных зубчатых колес // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. 2009. № 4. С. 48–53.
5. Р у д е н к о С. П., Ш и п к о А. А., М о с у н о в Е. И., В а л ь к о А. Л. Микроструктура упрочненных слоев высоконапряженных зубчатых колес из хромоникелевых сталей // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. 2011. № 1. С. 11–17.
6. Б л а н т е р М. Е. Теория термической обработки: Учеб. для вузов. М.: Металлургия, 1984.
7. К о в а л е н к о В. С. Металлографические реактивы. М.: Металлургия, 1981.
8. Б е к к е р т М., К л е м м Х. Справочник по металлографическому травлению. М.: Металлургия, 1979.
9. Заявка № 20101136 РБ от 23.07.2010. Металлографический реактив для выявления микроструктуры цементованных конструкционных сталей / А. Л. Валько, С. П. Руденко, Е. И. Мосунов, А. И. Михлюк.
10. А б р а м з о н А. А. Поверхностно-активные вещества: Свойства и применение. Л.: Химия, 1981.
11. Система менеджмента качества. Качество микроструктуры цементованного слоя и сердцевины зубчатых колес трансмиссий автотракторной техники: Руководящие технические материалы / РТМ ОИМ 34–2010. Мн., 2010.