

Термоциклическая обработка деталей гусеничных тракторов

Малинен П.А.¹
Казачков О.В.

Петрозаводский государственный университет

Рассматриваются возможности внедрения термоциклической обработки с целью повышения надежности и долговечности ряда деталей гусеничных тракторов ОТЗ.

Ключевые слова: *термическая обработка, термоциклическая обработка, надежность и работоспособность деталей, мелкозернистая мартенситная структура, прочность, ударная вязкость.*

В результате исследований причин отказов деталей тракторов АО"ОТЗ", проведенных в лаборатории материаловедения ПетрГУ, было установлено, что до 40 процентов отказов деталей связано с недостатками в технологии их изготовления, включая термическую обработку.

В наиболее тяжелых условиях работы находятся детали ходовой системы гусеничных тракторов: опорные катки, ведущие и направляющие колеса, звенья гусениц, пальцы звеньев и др. В процессе эксплуатации эти детали подвергаются интенсивному абразивному износу. Износостойкость деталей зависит как от материала, так и от технологии термической обработки. Повышение долговечности деталей ходовой системы определяется выбором более износостойких материалов и применением прогрессивных технологических процессов термического упрочнения.

Актуальной проблемой является повышение износостойкости звеньев гусениц, изготавливаемых из легированной стали 35ГТФЛ или 110Г13Л ГОСТ2176-77.

Отказы по гусеницам являются систематическими. Имеются случаи, когда наработка гусеницы до отказа составляет около 400 м.-ч.

Основной причиной отказов звеньев гусениц является износ шарниров, а также их хрупкое разрушение [1]. Причина хрупкого разрушения заключается в низком качестве отливок: наличие пор, раковин, рыхлости металла, крупных неметаллических включений по границам аустенитного зерна.

Большой надежностью и долговечностью обладают звенья гусениц из стали 110Г13Л, модифицированной хромом, титаном, бором и окислами цериевой группы

[2]. Высокомарганцовистая сталь сочетает в себе высокую вязкость и износостойкость с повышенным пределом выносливости.

Отказы пальцев гусеницы происходят в основном вследствие износа, смятия и излома (рис.1 а,б). Палец изготавливается из калиброванной стали марки 33ХС диаметром 22 мм, допускается замена на сталь 27СГ и 50. Поверхность пальца подвергается закалке ТВЧ на глубину 4...6 мм. Твердость на поверхности и на глубине 3,5 мм должна быть соответственно HRC_э>50 и HRC_э>42. Разрушение пальца, представленного на рис.1а, связано с нарушением режима закалки ТВЧ, а именно недогрева. На это указывает структура поверхностного слоя - троостит вместо требуемого мартенсита отпуска (рис.2а). Структура сердцевины - сорбит с избыточным ферритом (рис.2б), что также снижает механические свойства детали. Важной задачей является контроль качества термообработки данных деталей. В настоящее время на заводе разработан и изготавливается автоматический станок для индукционной закалки пальцев из стали 50, что должно существенно сократить брак при термообработке.

Важное значение имеет проблема повышения работоспособности ведущих колес. Ведущее колесо 55А-32-001 представляет отливку из стали 45Л ГОСТ977-75. Сердцевина колеса имеет твердость HB156...241. Рабочие поверхности зубьев и впадин подвергаются поверхностной закалке ТВЧ на глубину 6 мм до твердости HB>460.

Основной причиной отказа ведущего колеса является износ зубьев по боковым поверхностям из-за их низкой твердости (HRC32...38). Одно из отказавших колес показано на рис.4.

Закалку ТВЧ ведут на специальных станках конструкции Волгоградского НИИТМаша. Особенность технологического процесса закалки колес на этих станках - регулируемая скорость охлаждения венца, а именно повышенная скорость охлаждения в интервале температур 900...500°С и пониженная в интервале 500...100°С.

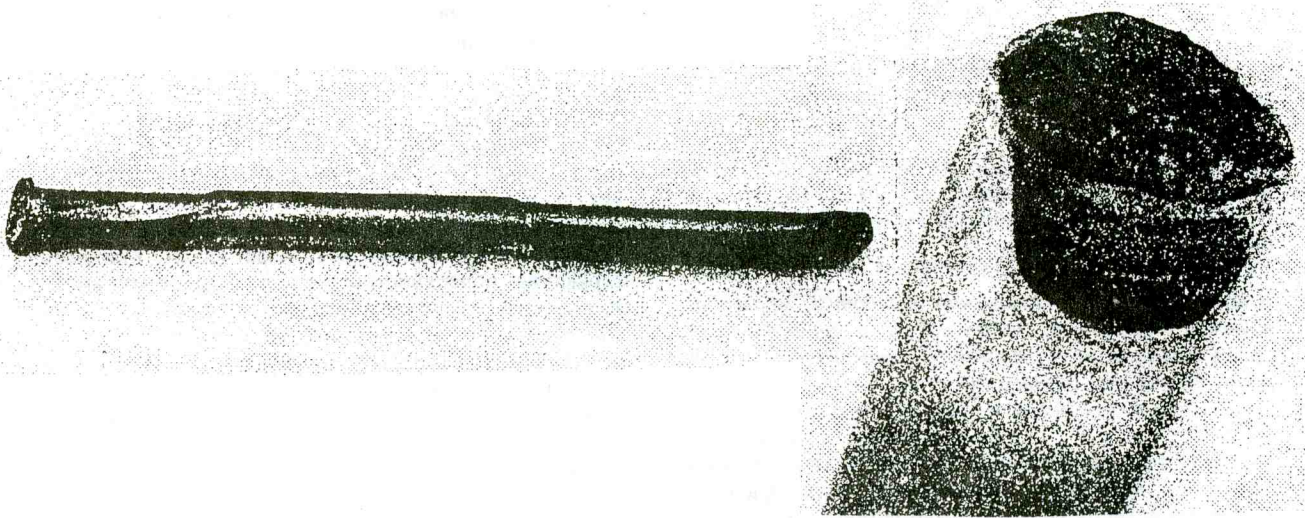
Важной задачей является повышение надежности вкладыша 55-33-064 (рис.3а).

Вкладыш изготавливается из стали 45 ГОСТ 1050-74 и должен иметь твердость HB 241...285.

Опорный выступ вкладыша подвергается закалке ТВЧ до твердости HRC_э>52 на глубину 2...4мм. Наиболее частой причиной отказа вкладыша является износ и выкрашивание опорного выступа (рис.3б). Разрушение происходит вследствие малой глубины закаленного слоя.

С целью повышения надежности вкладыша рекомендуется использовать вместо углеродистой стали 45 легированную сталь 40Х ГОСТ 4541-71.

¹ Авторы, соответственно, доценты кафедры технологии металлов и ремонта
© П.А.Малинен, О.В.Казачков, 1996



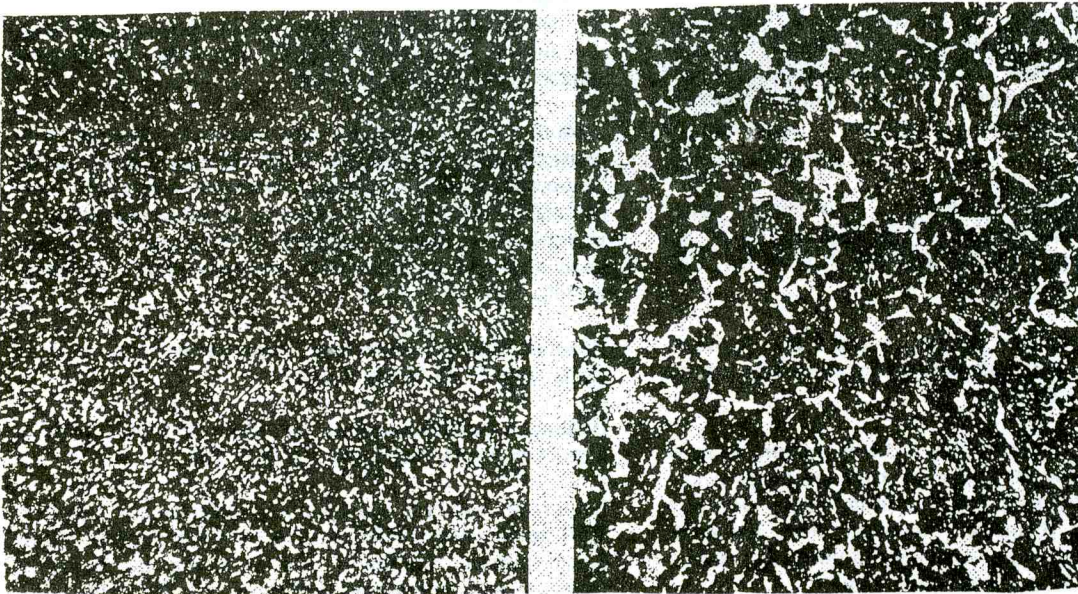
а

б

Рис. 1. Обній вид отказавших пальцев:

а - смятие и изгиб пальца

б - излом пальца



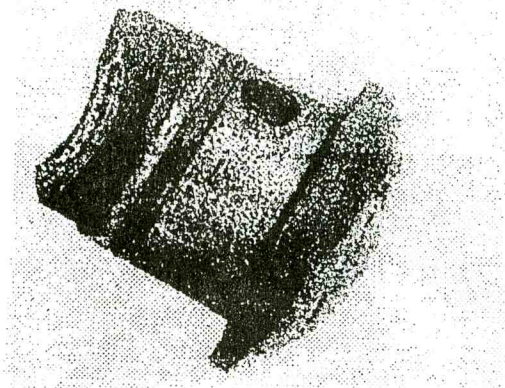
а

б

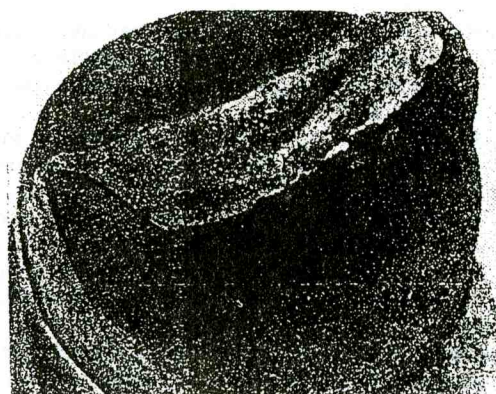
Рис. 2. Микроструктура пальца:

а - поверхностный слой, х200

б - сердцевина, х200



а



б

Рис. 3. Вид вкладыша после отказа :

а - общий вид

б - выкрашивание опорного выступа

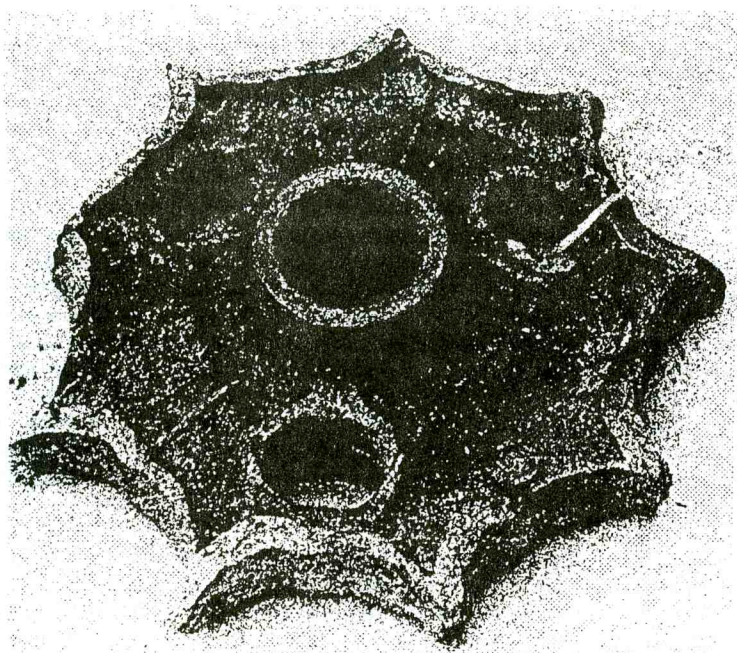


Рис. 4. Вид ведущего колеса после отказа

Резюмируя изложенные факты, можно сделать следующие выводы:

1. В наиболее сложных условиях эксплуатации находятся детали ходовой системы тракторов ОТЗ. В основном они подвергаются интенсивному абразивному износу.
2. Самым распространенным материалом для изготовления деталей является литая или горячекатаная углеродистая сталь 40 и 45.
3. Типичной термической обработкой, которую проходит большинство деталей, является объемная термообработка - закалка+высокий отпуск и следующая за ней закалка ТВЧ на глубину 2...4 мм.
4. Надежность рассматриваемых деталей тракторов недостаточна и во многом зависит от выбора материала и выполняемой термообработки.
5. В целях повышения надежности деталей необходимо решить вопрос об использовании легированных сталей перлитного класса типа 40X и применении новых методов упрочнения, основанных на предварительном измельчении зерна перед окончательной термообработкой, в частности термоциклической обработкой (ТЦО).

Разновидностью ТЦО является способ, приводящий к повышению износостойкости стали путем обеспечения мелкозернистой мартенситно-аустенитной структуры [4].

Такая обработка состоит в 3...4-кратном ускоренном нагреве (150...180°/мин) сталей до температуры выше точки A_{c1} и охлаждении ниже точки A_{r1} (в предварительных циклах на воздухе, в заключительном цикле - в масле). Предлагаемый режим отличается от известных способов [6] тем, что с целью повышения износостойкости стали охлаждение на заключительном цикле выполняют ступенчато в начале на воздухе до температуры 630...650°С, а затем в охлаждающей среде с более высокой скоростью охлаждения (например, для легированной стали 40X в масле с температурой 80...90°С).

Охлаждение в двух средах на последнем цикле предлагаемой термообработки позволяет получить оптимальную износостойкую структуру - мелкозернистую с равномерным распределением остаточного аустенита. Регулирование температуры охлаждающей среды позволяет сохранить в структуре оптимальное количество аустенита и не допустить возникновения внутренних термических напряжений. При меньшей температуре среды в детали возможно появление внутренних напряжений, приводящих к появлению микродефектов, а при более высоких температурах содержание аустенита в структуре больше оптимального количества. Количество циклов принимают равным 3...4. Высокоскоростной нагрев со скоростью 150...180 град/мин обеспечивает возникновение напряженного состояния по границам зерен (явление термонаклепа), способствующего повышению трещиностойкости материала.

Повышение износостойкости в результате применения предлагаемого способа термоциклической обработки связано с деформационной обработкой стали в период многократных нагревов и охлаждений материала, действующих как термоудары. В результате происходит дробление структурного зерна и измельчение карбидных образований, возникающих в межграницной зоне. Создается мелкодисперсная мартенситная структура с равномерным распределением остаточного аустенита, хорошо работающая на износ. Данный способ можно рекомендовать при изготовлении сопряженных пар трения, работающих в условиях повышенного абразивного износа.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВНЕДРЕНИЮ ТЦО ДЕТАЛЕЙ

Для изготовления деталей тракторов наиболее широко используются углеродистые стали типа 45 и легированная типа 40X в литом или в горячекатаном состоянии.

Важной задачей является повышение надежности и работоспособности ответственных деталей, в особенности ходовой системы гусеничных тракторов. Одним из путей решения этой задачи является перевод конструкционного материала на новый уровень конструктивной прочности: повышение вязкости разрушения, износостойкости, ударной вязкости, снижение порога хладноломкости и т.д.

Перспективным и прогрессивным направлением в развитии термической обработки можно считать термоциклический способ. ТЦО отличается от традиционных термообработок температурно-временными параметрами, а именно температурой нагрева, скоростью нагрева, количеством термоциклов, скоростью охлаждения на промежуточных и окончательном термоцикле. Все эти параметры существенно влияют на конечный результат.

Применительно к улучшаемым конструкционным сталям рекомендуется использовать среднетемпературную термоциклическую маятниковую обработку (СТЦО). Такая обработка состоит в ускоренном многократном нагреве в печи до температур на 30...50°С выше точки A_{c1} и охлаждении до температур ниже точки A_{r1} на воздухе как на промежуточных, так и на заключительном термоцикле [6]. Известно положительное влияние СТЦО на структуру и свойства стали. Основным результатом такой обработки является получение мелкозернистой структуры в сочетании с зернограницным упрочнением.

Разновидностью СТЦО является обработка, состоящая в многократном ускоренном нагреве до температур выше A_{c1} с промежуточным охлаждением ниже A_{r1} на воздухе и прерывистым охлаждением в заключительном термоцикле вначале на воздухе и далее в охлаждающей среде [4,5]. Наибольший эффект данная обработка дает при использовании легированных сталей типа 40X. Такую обработку можно рекомендовать как для легированных, так и для углеродистых сталей на стадии предварительной обработки, на-

пример, в сочетании с закалкой ТВЧ, а также вместо традиционных термообработок - нормализации и улучшения.

Основные параметры ТЦО: для углеродистой стали 45 - $T_{нагр} = 800 \pm 10^\circ\text{C}$, $T_{охл} = 600 \pm 10^\circ\text{C}$, $n = 5 \dots 6$; Тпечи = $950 \pm 50^\circ\text{C}$, охлаждающая среда на заключительном термоцикле - вода; для легированной стали 40Х - $T_{нагр} = 830 \pm 10^\circ\text{C}$; $T_{охл} = 640 \pm 10^\circ\text{C}$; $n = 3 \dots 4$; Тпечи = $950 \pm 50^\circ\text{C}$, охлаждающая среда - масло при $t = 80 \dots 90^\circ\text{C}$.

По данной схеме нами была проведена термоциклическая обработка поковок вкладыша 55-33-064 в муфельной печи. Поковки подвергались пятикратному нагреву до $800 \pm 10^\circ\text{C}$ в печи, предварительно нагретой до 900°C , с промежуточным охлаждением до температуры $600 \pm 10^\circ\text{C}$ и окончательным прерывистым охлаждением вначале на воздухе до температуры $600 \pm 10^\circ\text{C}$, а затем быстрым охлаждением в воде до комнатной температуры. Исследовалось влияние ТЦО на механические свойства углеродистой стали 45 следующего химического состава (массовая доля элементов): $C = 0,46\%$, $Mn = 0,6\%$, $Cr = 0,10\%$, $S = 0,03\%$. Время нагревов и охлаждений на каждом термоцикле контролировалось с помощью хромель-алюмелевой термопары, зачеканенной в боковую поверхность поковки. Термообработкой вкладыша, принятой на заводе, является улучшение - закалка $860 \pm 20^\circ\text{C}$ в масле и высокий отпуск $550 \pm 10^\circ\text{C}$. В целях повышения износостойкости поверхность опорного выступа вкладыша подвергается закалке ТВЧ с низким отпуском.

Исследования микроструктуры и механических свойств стали после ТЦО показали, что микроструктура состоит из мелкозернистого (балл 10-11) псевдоперлита с зернистой и пластинчатой формой цементита. По результатам механических испытаний на разрыв и ударный изгиб образцов, вырезанных из поковки, было установлено, что ТЦО по сравнению с улучшением существенно повышает пластичность и ударную вязкость. Так, относительное удлинение увеличивается с 19 до 25 %, относительное сужение с 52 до 62%, ударная вязкость с 67 до 121 Дж/см, т.е. примерно в 2 раза. Твердость стали при ТЦО снизилась с НВ 241 до НВ 207, т.е. на 16%.

Таким образом, структурно-чувствительные характеристики механических свойств - ударная вязкость, относительное остаточное удлинение и сужение в процессе ТЦО увеличиваются, что обеспечивает повышение надежности и работоспособности материала детали.

Итоги выполненной работы свидетельствуют о значительном преимуществе ТЦО по сравнению с обычной объемной термообработкой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование отказов деталей лесозаготовительных машин: Отчет о НИР // ПГУ: Руководитель П.А.Малинен. Петрозаводск. 1987. 116с.
2. Халдеев В.В., Семенов В.М., Мошкин Н.Ф., Учуваткин Ф.Н. Сопротивление усталости сталей для звеньев гусениц трелевочных тракторов // Основные направления экономики и рационального использования металла в автотракторостроении: Тезисы докладов. Челябинск: 1984. С.97.
3. Пути повышения надежности лесных машин при проектировании, изготовлении и эксплуатации: Отчет о НИР // ПГУ: Руководитель А.В.Питухин. Петрозаводск. 1993. 58с.
4. Патент N2024627 МКИ С21Д 1/78. Способ термоциклической обработки стальных деталей / О.В.Казачков // Изобретения, 1994. N23, С.92.
5. Малинен П.А., Казачков О.В. Новые перспективы термоциклической обработки // Радиационная повреждаемость и работоспособность конструктивных материалов: Тезисы докладов. СПб; Белгород: 1995. С.68.
6. Федюкин В.К., Смагоринский М.Е. Термоциклическая обработка металлов и деталей машин. М.: Машиностроение, 1989. 255 с.