

УДК 621.787.6

ПОВЫШЕНИЕ КОНТАКТНОЙ ВЫНОСЛИВОСТИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ИЗ СТАЛИ 25X13H2

© Кирилл Иванович Шебешев, Кирилл Алексеевич Бузаверов, Мария Юрьевна Рыжова, Марина Алексеевна Гресс

Московский Государственный Технический Университет им. Н. Э. Баумана, Россия
vladisl-2013@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрен технологический процесс термической обработки заготовок зубчатых колес. Исследованы предварительная и окончательная термическая обработка зубчатого колеса, включающая в себя определение необходимой температуры нагрева, времени выдержки и используемой при обработке среды. На основе экспериментальных данных установлены закономерности, определяющие эксплуатационные свойства зубчатых колес, имеющих повышенные требования к коррозионной стойкости. Составлен технологический режим окончательной термической обработки, содержащий два этапа: 1) закалка с высоким отпуском; 2) закалка токами высокой частоты (ТВЧ) с низким отпуском. Определены необходимые температуры нагрева, времени выдержки и используемой при обработке среды.

Ключевые слова: зубчатые колеса, сталь 25X13H2, технология, контактная выносливость, твердость, закалка, закалка ТВЧ, отпуск.

CONTACT FATIGUE STADY OF GEAR WHEELS FROM STEEL 0,25C, 13Cr, 2Ni

© K.I. Shebeshev, K.A. Buzaverov, M.Yu. Ryzhova, M.A. Gress

Bauman Moscow State Technical University, Russia
vladisl-2013@yandex.ru

Abstract. The paper describes the technological process of heat treatment of gears' gears. Preliminary and final heat treatment of the gear wheel, including determination of the necessary heating temperature, holding time and used in the processing of the medium, were studied. On the basis of experimental data, the regularities determining the operational properties of gears with increased requirements for corrosion resistance are established.

The technological regime of the final heat treatment is made, containing two stages: 1) hardening with high tempering; 2) hardening of HDTV with low tempering. The necessary heating temperatures, holding time and the medium used for processing are determined.

Keywords: gear wheels, steel 0,25C, 13Cr, 2Ni, technology, contact fatigue, hardness, hardening, HVC hardening, tempering.

Введение. Современная промышленность требует применения новых материалов, обладающих специальными свойствами: износостойкостью, жаропрочностью, коррозионной стойкостью, высокой удельной прочностью и др.

Зубчатые колеса относятся к числу наиболее распространенных деталей машин, представляющих собой диск с зубьями на цилиндрической или конической поверхности, входящими в зацепление с зубьями другого зубчатого колеса. Зубчатые колёса обычно

используются парами с разным числом зубьев с целью преобразования вращающего момента и числа оборотов валов на входе и выходе. Они входят в конструкции двигателей внутреннего сгорания автомобилей, тракторов, сельхозмашин, самолетов, турбин, станков и во многие другие машины и изделия.

При проектировании, изготовлении и ремонте шестерен и зубчатых колес, необходимо не только знание свойств материалов, но и методов их обработки для достижения заданных эксплуатационных характеристик. Технология изготовления зубчатых колес требует решения ряда конструктивных и материаловедческих проблем.

Контактная выносливость – прочность рабочей поверхности зуба на смятие. Недостаточная контактная выносливость приводит к усталостному выкрашиванию поверхностных слоев зубьев. Усталостное выкрашивание является самым распространенным видом повреждений для большинства закрытых передач и заключается в появлении на рабочих поверхностях небольших углублений - раковин. У зубьев с поверхностным упрочнением часто наблюдается отслаивание упрочненного слоя.

Цель данной работы – исследование возможности повышения контактной выносливости зубчатых колес из коррозионно-стойкой стали 25X13H2 - важнейшей характеристики работоспособности зубчатой передачи.

Материал и методика исследования. Зубчатое колесо предназначено к работе в агрегате для метеостанций, применяемом для определения параметров ветра на высоте 20-25 метров от поверхности земли в прибрежных (морских) зонах. Деталь подвержена воздействию окислительной среды при повышенных температурах, что может привести к процессу коррозии. Поэтому необходимо рассматривать коррозионностойкие стали мартенситного класса (ГОСТ 5632-72) [1].

Химический состав исследуемой стали 25X13H2 приведен в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав стали 25X13H2 (в % по массе)

Fe	C	Cr	Ni	Mo	Si	Mn	S	P
~82 (ост.)	0,2-0,3	12,0-14,0	1,5-2,0	до 0,3	до 0,5	0,8-1,2	0,15-0,25	0,08-0,15

Предварительная термическая обработка. Стали мартенситного класса характеризуются способностью к самозакаливанию на воздухе. Данные стали при нагреве приобретают структуру аустенита, а при охлаждении на воздухе могут претерпевать γ - α превращение с образованием мартенсита. Эта особенность сталей мартенситного класса вводит в технологию изготовления деталей обязательные условия медленного охлаждения или отжига после операций, связанных с горячей обработкой металла, в нашем случае, после горячей обработки давлением. Назначение отжига – снижение твердости, измельчение зерна, улучшение обрабатываемости, повышение пластичности и вязкости, снятие внутренних напряжений, уменьшение структурной неоднородности, подготовка к последующей термической обработке.

Из справочных данных для отжига мартенситных сталей достаточен нагрев до 750...800 °С, и последующего очень медленного охлаждения порядка 30...70 °С/ч [1], поэтому в данном случае подходит охлаждение с печью.

В работе проведены классические исследования макро- и микроструктуры и испытания твердости. Испытания на контактную выносливость проводили при контактных напряжениях $\sigma_{Zmax} = 4000$ МПа с нормальной температурой на модернизированной установке для исследования малоциклового усталости МКВ-К [2]. Скорость обкатки — 7,94 м/с. В

каждой партии испытывали 11 образцов. Образцы были изготовлены из квадратных прутков со стороной квадрата 10 мм.

Результаты экспериментов и обсуждение. Окончательная термическая обработка. Для получения необходимых характеристик сердцевины детали, в качестве окончательной термообработки проводят закалку и отпуск. В большинстве случаев при закалке необходимо получить высокую твердость и при последующем отпуске снять внутренние напряжения, повысить ударную вязкость и пластичность стали.

Поскольку сталь 25X13H2 является доэвтектоидной, для нее проводят полную закалку (на 30...50°C выше точки A_{c3}). На рисунке 1 показано влияние температуры нагрева под закалку на твердость стал после охлаждения.

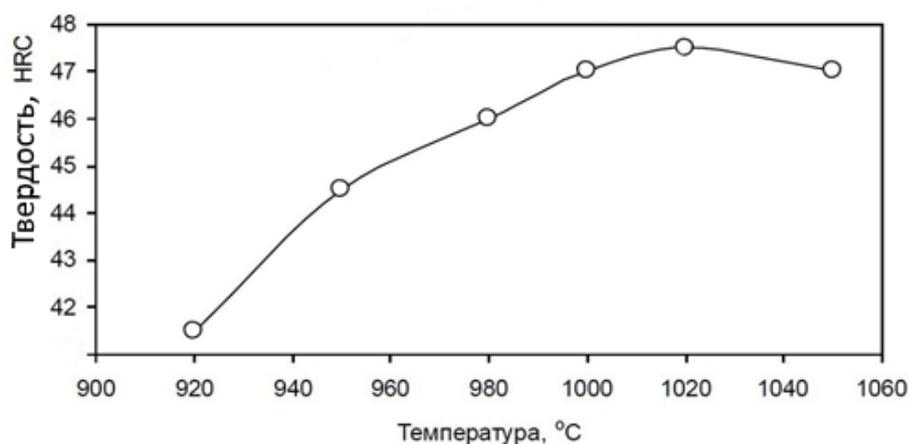


Рис. 1. Зависимость твердости стали 25X13H2 от температуры закалки

Видно, что с повышением температуры до 1020 °C наблюдается закономерный рост твердости, связанный с растворением карбидов хрома $Cr_{23}C_6$. При дальнейшем повышении температуры нагрева, твердость уменьшается, зерно сильно укрупняется, заметно увеличивается количество остаточного аустенита в структуре после закалки. Это является не желательным, поэтому оптимальная температура закалки 1020 °C.

При выборе охлаждающей среды (воздух) было учтено, что хром, никель, молибден, вольфрам уменьшают критическую скорость закалки и увеличивают прокаливаемость.

Сразу после закалки (во избежание самопроизвольного растрескивания) изделия из сталей мартенситного класса необходимо подвергнуть отпуску. Температуру отпуска при окончательной термообработке необходимо выбирать по сочетанию необходимых характеристик, в нашем случае это: ударная вязкость $KCU > 60$ кДж/м², твердость сердцевины 269-302 НВ.

Исследование влияния температуры отпуска на свойства стали 25X13H2 представлено на рисунках 2 и 3.

По графикам (см. рис. 2 и 3) требованиям по твердости удовлетворяет диапазон температур отпуска 680...780 °C, а по ударной вязкости – более 650 °C, поэтому температура для отпуск данной стали назначена при 680...700 °C. Рекомендованное время выдержки 1...1,5 ч и охлаждение на воздухе [3, 4].

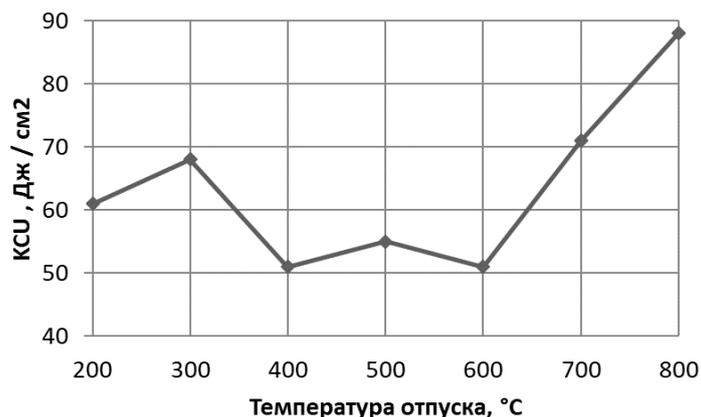


Рис. 2. Влияние температуры отпуска на ударную вязкость стали 25Х13Н2

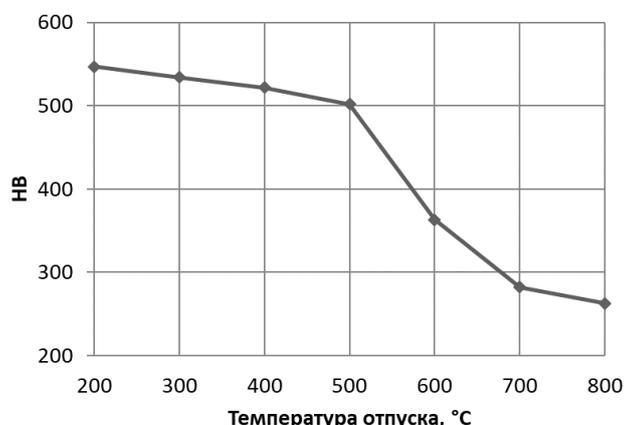


Рис. 3. Влияние температуры отпуска на твердость НВ стали 25Х13Н2

Для повышения контактной выносливости, поверхность зубчатых колес необходимо упрочнить. Это можно сделать несколькими способами: химикотермической обработкой (цементацией [5, 6] или обработкой в коронном разряде [7]) электрохимической обработкой [8], пластической деформацией [9, 10] или с помощью токов высокой частоты. В работе исследован последний вариант, имеющий множество преимуществ [11]. В том числе: возможность нагрева на определенную регулируемую глубину, отсутствие перегрева и мелкозернистую структуру.

Технические параметры выпускаемых на производстве индукционных установок определяются мощностью и частотой работы. Для создания закаленного слоя применяют индукционные нагревающие устройства мощностью 40...300 кВА при показателях частоты в 20...40 килогерц либо 40-70 килогерц. Если необходимо провести закалку слоев, которые находятся глубже, стоит применять показатели частот от 6 до 20 килогерц. Диапазон частот выбирается, исходя из номенклатуры марок стали, а также уровня глубины закаленной поверхности изделия. Существует огромный ассортимент комплектаций индукционных установок, что помогает выбрать рациональный вариант для конкретного технологического процесса [11]. Режим поверхностной закалки ТВЧ: Температура закалки 900 °С, время нагрева 8 с. В результате такой обработки была получена толщина закаленного слоя около 3 мм и твердость поверхности HRC 50. Макроструктура зуба колеса из стали 25Х13Н2 после закалки методом ТВЧ представлена на рис. 4.

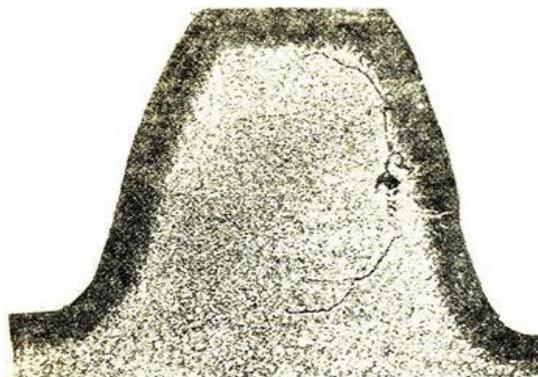


Рис. 4. Макроструктура зуба колеса из стали 25X13H2 после закалки методом ТВЧ

После охлаждения на поверхности металла остаются высокие сжимающие напряжения, которые повышают эксплуатационные свойства детали. Напряжения между поверхностным слоем и серединой необходимо устранить. Это делается с помощью низкотемпературного отпуска в печи. Чтобы избежать появления на поверхности микротрещин, нужно свести к минимуму время между закалкой и отпуском. Исследования влияния температуры отпуска на контактную выносливость стали представлен в таблице 2.

Таблица 2

Результаты испытаний образцов из стали 25X13H2 на контактную выносливость N_{50} после закалки ТВЧ (900 ± 5 °С) и отпуска (1 ч).

Температура отпуска, °С	Долговечность N_{50} , млн.цикл.
150 ± 5	93...94,5
175 ± 5	105...107
200 ± 5	133...135
225 ± 5	98...101

Из таблицы 2 видно, что оптимальной температурой отпуска является 200 ± 5 °С. Превышение этой температуры приводит к разупрочнению поверхностного слоя.

Заключение. Исследования показали, что окончательная термическая обработка зубчатых колес из стали 25X13H2 должна включать закалку с температуры 800 ± 5 °С и высокий отпуск при температуре 680 ± 5 °С, 1,5 ч. Для повышения контактной выносливости зубьев необходимо дополнительно провести закалку ТВЧ с температуры 900 ± 5 °С с последующим низким отпуском при температуре 200 ± 5 °С, 1 ч.

Список литературы

1. Вознесенская Н.М., Каблов Е.Н., Петраков А.Ф. Высокопрочные коррозионностойкие стали аустенитно-мартенситного класса. // Металловедение и термическая обработка металлов. - 2002. - №7. - С. 34-37.
2. Пахомова С.А. Особенности преподавания курса «Инженерия поверхности» студентам по направлению «материаловедение и технологии материалов» // Инженерный вестник. - 2015. - № 9. - С. 19.
3. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов. - М.: Металлургия, 1978. - 392 с.
4. Ульянин Е.А. Коррозионные стали и сплавы. - М.: Металлургия, 1991. - 256 с.

5. Фахуртдинов Р.С., Пахомова С.А., Рыжова М.Ю. Проблемы модернизации оборудования для вакуумной цементации // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2017. - № 2, С. 113–118.
6. Fakhurtdinov R.S., Ryzhova M.Y., Pakhomova S.A. Advantages and commercial application problems of vacuum carburization // Polymer Science. Series D. - 2017. - Т. 10, № 1. - P. 79-83.
7. Помельникова А.С., Фетисов Г.П., Пахомова С.А. К вопросу упрочнения различно легированных сталей обработкой в коронном разряде // Технология металлов. - 2017. - № 2. - С. 20-24.
8. Федорова Л.В., Федоров С.К., Бохонов Г.Ю. Упрочняющее электромеханическое восстановление вторичного вала коробки перемены передач автомобилей семейства «Газель» // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2015. - № 9. - С. 14–16.
9. Пахомова С.А., Макушина М.А., Коваленко С.В. Деформационное упрочнение тяжело нагруженных поверхностей зубчатых передач для горнодобывающей промышленности // Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта. - 2016. - № 3. - С. 243-251.
10. Пахомова С.А., Рыжова М.Ю., Фахуртдинов Р.С., Макушина М.А., Пикалов А.И., Усова В.В., Юшин Н.А. Контактная выносливость и износостойкость теплостойкой стали после разных видов цементации // Вестник научно-технического развития. - 2016. - № 9 (109). - С. 19-28.
11. Закалка металлов токами высокой частоты URL:
http://m-deer.ru/tehnologiya/zakalka_metallov_tokami_vysokoj_chastoty.

Дата поступления: 3 июня 2018 г.