

## ПОВЫШЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗНАШИВАНИЮ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ ПОВЕРХНОСТНЫМ УПРОЧНЕНИЕМ

### INCREASED WEAR RESISTANCE OF STRUCTURAL STEEL BY SURFACE HARDENING

Бельский С.Е., Блохин А.В., Сурус А.И., Лось А.М.

*(Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск, Республика Беларусь)*

Belsky S. E., Blakhin A. V., Surus A. I., Los A. M.

*(Belarusian state technological university, Minsk, The Republic of Belarus)*

*Авторами работы предложен способ химико-термической обработки для ряда конструкционных сталей. Показано, что использование предложенного метода термической обработки повышает износостойкость сталей 25ХГТ и 20ХН3А. Данные материалы предложено использовать для изготовления деталей трансмиссий техники, используемой для лесозаготовительных работ.*

*The authors proposed a method of chemical and thermal treatment for a number of structural steels. It is shown that the use of the proposed method of heat treatment increases the wear resistance of 25ХГТ and 20ХН3А. steels. These materials are proposed to be used for the manufacture of transmission parts of equipment used for logging operations.*

**Ключевые слова:** трансмиссия, деталь, сталь, износостойкость азотирование, цементация

**Key words:** transmission, part, steel, wear resistance, nitriding, cementation

Для обеспечения непрерывности процесса лесозаготовительных работ и снижения издержек, связанных с простоем автотракторной техники задействованной для проведения таких работ, вызванных выходом из строя трансмиссий, коробок перемены передач и т. п. требуется повышать надежность названных узлов и агрегатов. Легированные конструкционные стали типа 20Х, 25ХГТ, 20ХН3А. широко используются в автотракторостроении для изготовления ответственных деталей работающих в условия высоких контактных нагрузок, а также интенсивного изнашивания (зубчатые колеса, червяки, шлицевые валы и т.п.). Высокие динамические нагрузки, характерные для работы лесных машин требует обеспечения существенного повышения сопротивления изнашиванию подобных деталей [1, 2]. Одним из наиболее распространенных процессов химико-термической обработки, обеспечивающих повышение как контактной прочности, так и износостойкости является цементация [3].

В работе исследовано влияние параметров процесса цементации на распределение микротвердости в поверхностном слое, а также кинетику его изнашивания. На опытных образцах из сталей 25ХГТ и 20ХН3А проводилась газовая цементация в среде природного газа при температуре 920°C и выдержке до 15 часов.

Анализ распределения углерода по толщине цементованного слоя сталей 25ХГТ и 20ХН3А показал, что насыщение углеродом происходит интенсивнее при высокой легированности карбидообразующими элементами. Чем выше

степень легированности, тем в большей мере выражен градиент концентрации углерода между глубинными и поверхностными слоями. У обеих сталей с поверхности образуется зона, обедненная углеродом, что связано с некоторым обезуглероживанием в процессе охлаждения на воздухе с температур цементации.

Металлографический анализ показал, что цементованный слой сталей состоит из трех зон. Первая зона представляет собой темнотравящуюся трооститную основу с включениями карбидов. Глубже расположена светлотравящаяся аустенитно-мартенситная зона с меньшим по сравнению с поверхностным слоем количеством карбидной фазы. Третий слой – переходной к структуре сердцевины стали – сорбито-мартенситный.

На рисунке 1 показано влияние продолжительности цементации на общую толщину упрочненного слоя, а также толщину зоны залегания карбидов стали 25ХГТ.

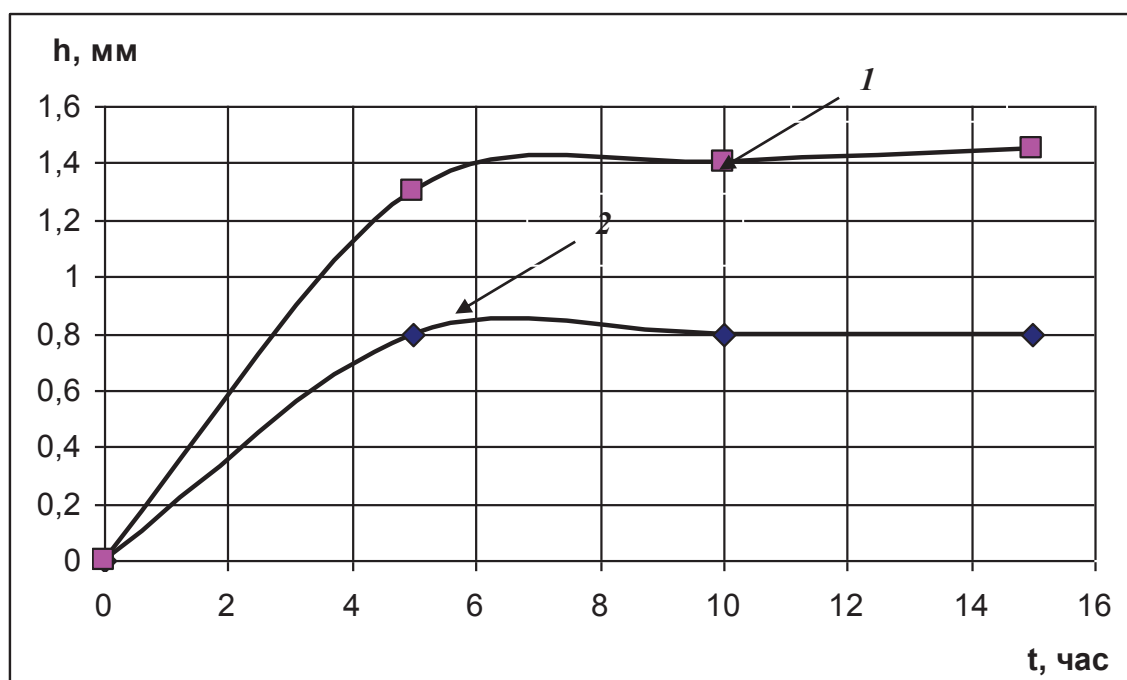


Рисунок 1 – Влияние продолжительности процесса цементации стали 25ХГТ с предшествующим азотированием на толщину слоя (1) и зоны залегания карбидов (2)

Для определения эксплуатационных характеристик упрочненных слоев в разработанных насыщающих составах и оптимизации температурно-временных параметров процесса упрочнения исследована кинетика изнашивания экспериментальных образцов после проведения ХТО. Необходимо отметить, что как показали проведенные исследования диффузионные слои характеризуются неоднородностью структуры и химического состава, наличием дефектов в виде пор, микротрещин, а также значительными колебаниями по толщине и твердости. В связи с этим сопротивление изнашиванию является важным критерием физико-механических и эксплуатационных свойств, так как позволяет оценить служебные свойства материалов, упрочненных при различных условиях.

Исследования износостойкости упрочненных различными составами экспериментальных образцов проводились в лабораторных условиях. Созданная в БГТУ установка для проведения ускоренных испытаний по сопротивлению изнашиванию экспериментальных образцов частично моделирует реальные условия работы тяжело нагруженных деталей [4].

Режим испытаний при возвратно-поступательном движении был следующий: величина амплитуды—110 мм; максимальная скорость скольжения  $V_{\max}=0,67$  м/с; число циклов—452 тысяч, что соответствует—59,72 км пройденного пути; температура в месте контакта поддерживалась не выше 70–100°C. При этом удельная нагрузка на поверхности трения изменялась от 1,5 МПа до 5,5 МПа, что позволило в достаточно широком диапазоне оценивать параметры износостойкости упрочненных образцов.

Исследования упрочненных образцов проводились в режиме сухого трения с минимальным добавлением индустриального масла 20 для исключения явления задира. Испытывались образцы размеров 10x10x10 мм из сталей 25ХГТ и 20ХН3А прошедших цементацию по различным режимам.

В связи с тем, что структура и фазовый состав поверхностных слоев по глубине в значительной степени отличаются неоднородностью, показатели износостойкости различных слоев существенно отличаются друг от друга. Для получения достоверных результатов испытаний, в отличие от традиционно применяемых методик, отсутствовал период приработки образца и контртела. Поэтому при проведении исследований шероховатость контртела, выполненного из инструментальной быстрорежущей стали Р6М5 с твердостью HRC 64–66, поддерживалась постоянной в пределах Ra 1,25 мкм. После испытаний трех образцов рабочая поверхность контртела периодически перешлифовывалась на заданную шероховатость; для более интенсивного износа неровности выполнялись в направлении перпендикулярном движению образца.

При анализе результатов испытаний была определена зависимость интенсивности изнашивания образцов от пути трения при упрочнении их ХТО (рис. 2). Было установлено, что при цементации в течение 5 часов образцов из стали 25ХГТ существуют, как уже было отмечено, участки приработки и ускоренного изнашивания, при которых значения интенсивности изнашивания достигают максимальных значений (рис. 2, кривая 1). При этом наиболее опасной является зона катастрофического изнашивания, которая находится на пути трения 45–60 км, так как здесь происходит основное разрушение поверхности.

Следует отметить, что более высокий уровень прочностных свойств стали 20ХН3А, а также более высокое содержание углерода в поверхностном слое обеспечивает менее интенсивное по сравнению со сталью 25ХГТ изнашивание особенно на стадии приработки. Менее интенсивно протекает и смятие участков поверхности, характерное для периода ускоренного изнашивания.

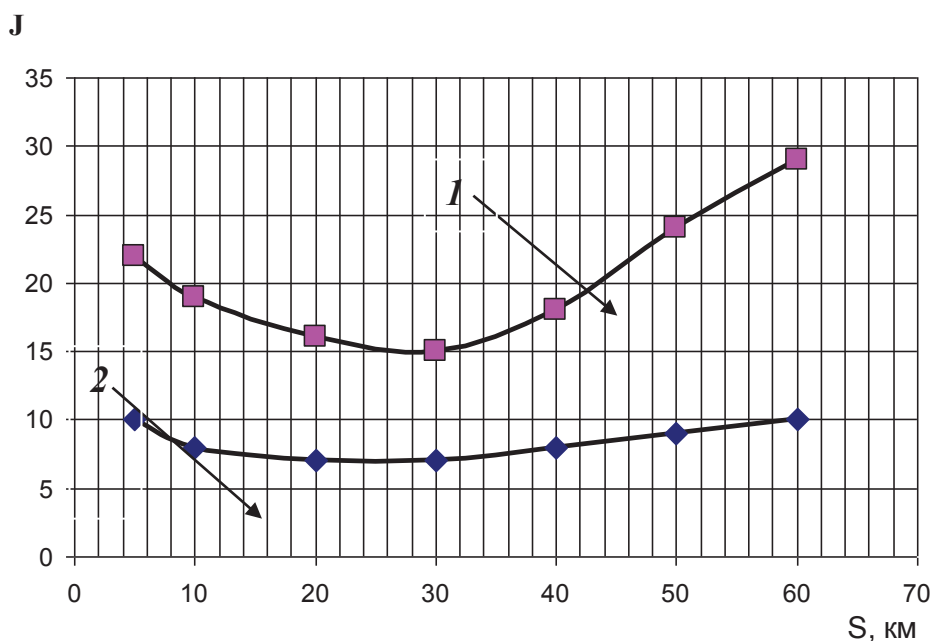


Рисунок 2 – Влияние пути трения на интенсивность изнашивания образцов из стали 25ХГТ: 1–цементация (5 час.); 2–цементация (15 час.)

При увеличении времени обработки интенсивность изнашивания на всем протяжении пути трения остается почти постоянной. При этом на некоторых участках пути трения наблюдается ее уменьшение, что вероятно связано со стабильностью поверхностной твердости и остаточных напряжений сжатия.

На основании экспериментальных данных были выведены аналитические зависимости величины износа от пути трения для различных сталей и при разных режимах упрочнения ХТО. Данные графики позволяют определять зависимость величины изнашивания от пути трения, что является необходимым при расчетах величины изнашивания упрочненной поверхности.

#### Список использованных источников

1. Симанович В.А., Пищов М.Н., Смян А.И. Особенности эксплуатационных режимов нагружения лесных агрегатных машин // Труды БГТУ, серия П «Лесная и деревообрабатывающая промышленность. 2007. Вып. XV. С.77-78.
2. Сурус А.И., Бельский С.Е., Царук Ф.Ф. Особенности выбора технологии поверхностного упрочнения для повышения надежности и долговечности деталей лесных машин // Труды БГТУ, серия П «Лесная и деревообрабатывающая промышленность. 2014. С.209-213.
3. Тескер Е.И. Повышение контактной прочности поверхностно-упрочненных зубчатых колес за счет оптимизации параметров упрочненного слоя // Вестник машиностроения. 1986. №7. С.51-55.
4. Пищов М.Н., Бельский С.Е., Царук Ф.Ф. Анализ изнашивания упрочненных борированием и боросилицированием ответственных и тяжело нагруженных деталей трансмиссий лесных мобильных машин // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2019. №55. С.103-106.