

УДК 621.785.532

М. Н. Пищов, кандидат технических наук, старший преподаватель (БГТУ);**Ф. Ф. Царук**, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);**А. И. Сурус**, кандидат технических наук, доцент (БГТУ)

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОМПЛЕКСНОГО БОРИРОВАНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ

Исследовано влияние комплексного борирования, а также температурно-временных параметров процесса на микротвердость поверхностного слоя деталей лесных машин. Изучена шероховатость и стабильность размеров упрочняемых деталей.

The influence of both the complex borating and temperature-temporal parameters of the process on microhardness of coating surface of logging machinery is examined. Roughness and stability of the dimensions in the the strengthen machine elements are considered.

Введение. Условия эксплуатации ряда сложнагруженных деталей лесных машин характеризуются значительным трением, а также вибрациями широкого амплитудно-частотного диапазона, способствующими интенсивному износу их рабочих поверхностей, и другим «видам» разрушения, в том числе усталостного.

Из многочисленных исследований и опыта эксплуатации различных машин и механизмов известно, что сопротивление усталости и изнашиванию зависит от ряда факторов, в том числе от поверхностной твердости материала детали. С возрастанием твердости, как правило, достигается повышение допускаемых контактных и изгибных напряжений и повышение износостойкости.

Однако в условиях максимальных нагрузок, возникающих при работе ряда лесных машин, например трелевочных тракторов, твердость сложнагруженных деталей, и в частности зубчатых колес трансмиссии, является недостаточной. В связи с этим актуальной остается разработка методов упрочнения материалов, позволяющих получать более высокую поверхностную твердость деталей при минимальных временных и энергетических затратах.

Для повышения износостойкости деталей машин широко применяют различные виды поверхностного упрочнения: цементацию, азотирование, цианирование и др [1–3].

Технологический процесс упрочнения деталей борированием и боросилицированием по сравнению с другими способами диффузионного насыщения (например, цементацией) проводится при относительно меньшем времени насыщения. Это преимущество наряду с практически одинаковой температурой насыщения (920–950°C) и обусловило исследование данных методов с целью применения их для упрочнения деталей трансмиссий трелевочных тракторов, которое может осуществляться в ремонтных мастерских лесопромышленных предприятий.

При целесообразности упрочнения поверхностей зубьев зубчатых колес трансмиссии трелевочных тракторов возникает вопрос о влиянии

применяемого метода химико-термической обработки на стабильность размеров и шероховатость упрочняемых поверхностей, что существенно влияет на работу зубчатых передач.

В связи с этим в данной работе проведены исследования влияния технологических параметров комплексного борирования на поверхностную твердость, шероховатость и стабильность размеров упрочненных поверхностей деталей.

1. Исследование микротвердости упрочненного поверхностного слоя. Исследование распределения микротвердости по глубине упрочненных слоев при борировании и боросилицировании проводилось на микротвердомере ПМТ-3М. На рис. 1 приведено распределение микротвердости по глубине поверхностного слоя образцов, выполненных из стали 25ХГТ и упрочненных борированием и боросилицированием. Результаты, полученные при различных температурно-временных параметрах процессов, показывают, что понижение твердости идет постепенно на всех исследуемых образцах. Выявлено, что как при борировании, так и при боросилицировании, максимальная твердость достигается на поверхности образцов с постепенным уменьшением по глубине упрочненного слоя.

Характер распределения микротвердости по глубине слоя, упрочненного борированием и боросилицированием, связан с его фазовым составом. Было установлено, что при борировании образуется достаточно резкое снижение твердости при переходе от упрочненного слоя к основе металла, что способствует созданию на границе дополнительных напряжений. Связано это с образованием в упрочненном слое фазы FeB. При упрочнении боросилицированием наблюдается более плавный переход к основе металла, отсутствуют резкие изменения микротвердости по глубине слоя, что свидетельствует об образовании в слое менее твердых фаз Fe₂B и FeSi. Можно выделить три зоны с соответствующей микротвердостью при боросилицировании: зона, насыщенная бором и кремнием (11200–11800 МПа), переходная зона (7800–9000 МПа) и сердцевина (5000–5600 МПа).

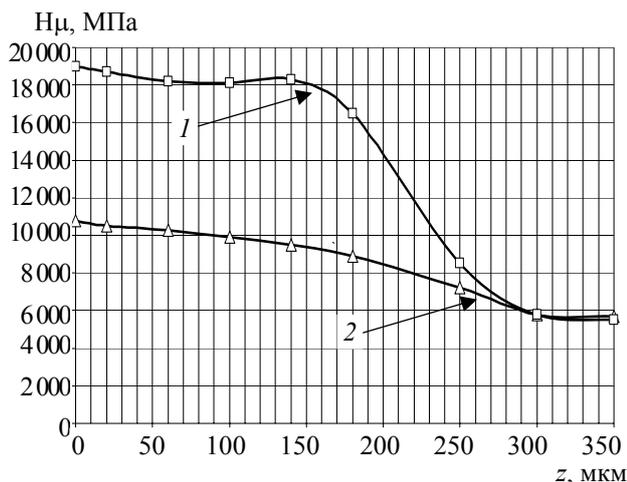


Рис. 1. Распределение микротвердости по толщине упрочненного борированием и боросилицированием слоя с различной толщиной образцов стали 25ХГТ: 1 – борирование; 2 – боросилицирование (толщина слоя 200–220 мкм)

Приведенная микротвердость характеризует образование и расположение по глубине упрочненного слоя, различные по своей структуре и химическому составу фаз. Аналогичный характер изменения микротвердости можно отметить и для различных составов насыщающей смеси, что хорошо согласуется с данными других авторов [2].

Как было отмечено, работа трелевочного трактора сопровождается высокими динамическими нагрузками на детали трансмиссии, которые при неправильном назначении ХТО могут привести к скалыванию поверхностного упрочненного слоя с контактных поверхностей зубьев. В связи с этим упрочненный слой наряду с обеспечением высокой поверхностной твердости должен обладать и низкой хрупкостью.

На основании полученных результатов распределения микротвердости по толщине упрочненного слоя было установлено, что при боросилицировании повышение твердости на глубине 200–250 мкм приводит к увеличению допускаемых контактных напряжений для предотвращения образования пластических деформаций не только на поверхности, но и на указанной глубине и обеспечивает предотвращение глубинного контактного выкрашивания упрочненного слоя. Это делает возможным применение данного способа упрочнения для зубчатых колес трансмиссии трелевочных тракторов.

Как отмечено выше, износостойкость поверхности и качество работы деталей передач зависят от шероховатости поверхности и стабильности размеров, которые могут изменяться после проведения химико-термической обработки.

2. Исследование шероховатости и стабильности размеров упрочненной поверхности. Шероховатость поверхности определяли по параметру Ra на профилографе-профилометре. Исследование проводилось на образцах из сталей 45, 40Х и 25ХГТ, обработанных на различную чистоту поверхности, а затем подвергнутых упрочнению борированием и боросилицированием при температуре насыщения 950°C и времени выдержки 3 ч (рис. 2).

Результаты исследований показывают, что состояние поверхности после диффузионного насыщения как при борировании, так и боросилицировании ухудшается на всех образцах. Упрочнение изделий вызывает изменения их линейных размеров, что связано с активной адсорбцией атомов легирующих элементов на поверхности и образованием в упрочненном слое твердых растворов внедрения. При этом изменения линейных размеров после проведения ХТО зубчатых колес не должны выходить за пределы допуска на погрешность профиля зуба.

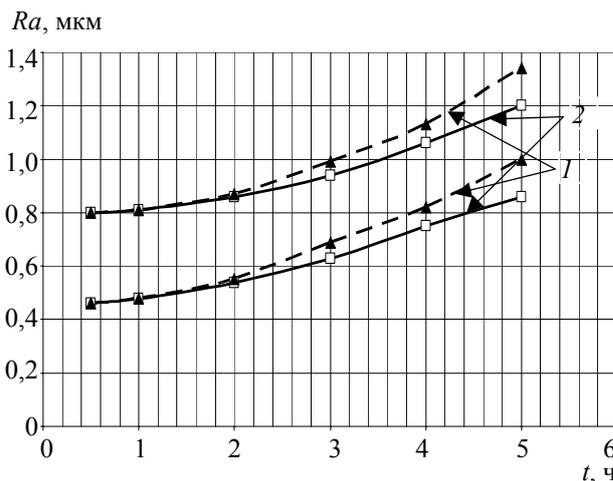


Рис. 2. Влияние времени насыщения на шероховатость поверхности при различной величине исходной Ra при борировании и боросилицировании: 1 – борирование; 2 – боросилицирование

Исследования проведены на цилиндрических образцах из стали 25ХГТ диаметром 20 мм и длиной 10 мм, подвергнутых борированию и боросилицированию при температуре 950°C и времени обработки от 0,5 до 5,0 ч. Изменения диаметров образцов фиксировались при помощи вертикального оптиметра типа ИКВ с ценой деления 0,001 мм. Отмечен (рис. 3) прирост размеров (Δl), пропорциональный увеличению времени выдержки и толщины поверхностного упрочненного слоя.

Увеличение размеров составляет приблизительно 18–22% от толщины как борированного, так и боросилицированного слоев. При общей толщине упрочненного боросилицированием

слоя деталей трансмиссий трелевочных тракторов в 200–250 мкм увеличение размеров составит около 36–55 мкм.

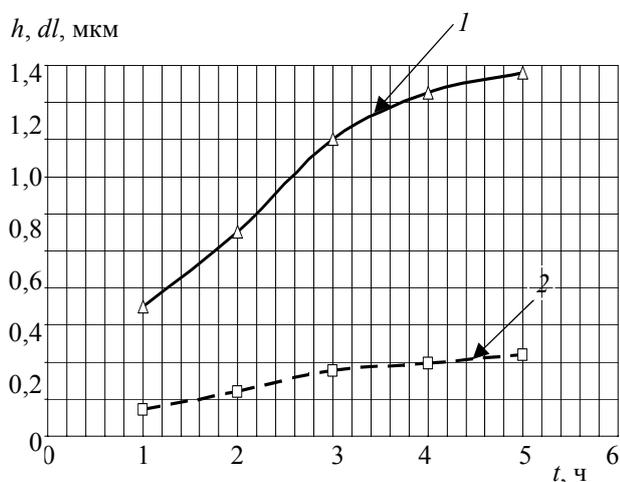


Рис. 3. Влияние времени насыщения на толщину упрочненного боросилицированием слоя (h) и прирост размеров (dl) образцов из стали 25ХГТ

Близкий к линейному характер зависимости прироста размеров от времени обработки облегчает установление соответствующих корреляционных зависимостей (Δl от t) и, тем самым, назначение оптимальных допусков на механическую обработку. В ряде случаев, наоборот, погрешности механической обработки могут быть исправлены установлением соответствующего времени поверхностного насыщения.

Как показали проведенные исследования, прирост размеров при боросилицировании не превышает допуск на погрешность профиля зуба конических передач, что не предполагает использования дополнительной механической обработки, связанной с уменьшением размеров. Для уменьшения шероховатости упрочненных конических зубчатых колес деталей трансмиссий трелевочного трактора ТТР-401 после проведения боросилицирования в качестве финишной обработки предусматривается хонингование.

Выводы. На основании изучения изменения шероховатости и линейных размеров деталей после обработки было установлено: после борирования и боросилицирования увеличение

размеров находится в пределах 18–22% от толщины упрочненного слоя (200–250 мкм), что составляет около 36–55 мкм и не превышает допуск на погрешность профиля зуба крупномодульных зубчатых колес.

Незначительное увеличение параметра шероховатости Ra (в среднем с $Ra = 1,6$ мкм перед упрочнением до $Ra = 1,72$ – $1,94$ мкм после проведения ХТО) наблюдается как при борировании, так и боросилицировании, в связи с чем в качестве финишной обработки упрочненных зубчатых колес целесообразно проводить хонингование.

Результаты исследований показали, что борирование, несмотря на высокую поверхностную микротвердость (18 000–20 000 МПа), не целесообразно использовать для упрочнения деталей лесных машин, так как при данном процессе образуется достаточно хрупкий упрочненный слой.

Результаты упрочнения боросилицированием по исследованным параметрам удовлетворяют требованиям, предъявляемым к работающим в сложнагруженных условиях деталям, в частности для зубчатых колес трансмиссии трелевочных тракторов.

Литература

1. Аникин, Н. И. Снижение динамической нагруженности и повышение долговечности трансмиссий лесопромышленных колесных тракторов на основе анализа динамических процессов в характерных условиях эксплуатации: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / Н. И. Аникин. – Химки, 1988.
2. Сусин, А. А. Качество тяжело нагруженных зубчатых колес энергонасыщенных машин и технология ХТО / А. А. Сусин // Новые материалы и ресурсосберегающие технологии термической и ХТО – основа повышения надежности и долговечности деталей машин и инструмента / А. А. Сусин. – Телави, 1987.
3. Тескер, Е. И. Повышение контактной прочности поверхностно-упрочненных зубчатых колес за счет оптимизации параметров упрочненного слоя / Е. И. Тескер // Вестник машиностроения. – 1986. – № 7.

Поступила 15.03.2012