

М. Н. Пищов, аспирант; С. Е. Бельский, канд. техн. наук, доцент;
А. И. Сурус, канд. техн. наук, доцент

МЕТОДИКА УПРОЧНЕНИЯ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСМИССИИ ТРЕЛЕВОЧНЫХ ТРАКТОРОВ

The operating conditions of forest machines are analyzed. Transmission parts disabled as a result of intensive wear have been determined, their fracture mechanism has been established. A technique for diffuse impregnation of component parts with powdered mixtures containing boron, aluminum and silicon is offered. An optimal composition and temperature for diffuse impregnation of component parts operating under dynamic loading has been specified. Microhardness of surface and subsurface layers has been studied. Technique for abrasion testing is offered, comparative testing of carburized and borated samples has been carried out.

Введение. Лесная промышленность Республики Беларусь представлена лесными и лесопромышленными предприятиями, которые оснащены различной техникой: агрегатными лесосечными машинами, трелевочными тракторами, лесовозными автопоездами и другим оборудованием. Условия эксплуатации ряда сложнагруженных деталей машин характеризуются значительным трением, интенсивным износом на их рабочих поверхностях, а также вибрациями широкого амплитудно-частотного диапазона.

Лесные и грунтовые дороги имеют переходные и низкие типы покрытия. Их состояние в большинстве своем неудовлетворительное. Весной и осенью многие дороги являются практически непроезжаемыми, а летом труднопроезжаемыми для автомобильного транспорта. Работа трелевочного трактора постоянно сопровождается наездами на препятствия разного рода: пни, валежник, неровности, валуны и т. д. Нагрузки на трансмиссию также создаются при трогании с места и при трелевке пачки деревьев. В работах [1, 2] показано, что динамические крутящие моменты в трансмиссии колесного трактора имеют наибольшее значение при интенсивном трогании с места.

тановлено, что для колесных трелевочных тракторов производства МТЗ (рис. 1), а также семейства трелевочных и транспортно-погрузочных машин (рис. 2), созданных на базе тракторов МТЗ-82.1 и МТЗ-82.2 наиболее нагруженными являются шестерни третьей и четвертой передачи, а также редуктор переднего моста. По процентному соотношению трелевочный трактор работает на этих передачах соответственно 32 и 36% на холостом ходу, 43 и 29% при трелевке деревьев на верхний склад. Д. И. Громов [3] доказал, что максимальный крутящий момент, возникающий на полуосях при действии внешних сил со стороны колес, равен двойному моменту сцепления ведущих колес с грунтом.



Рис. 1. Трелевочный трактор ТТР-401

1. Условия эксплуатации и причины выхода из строя деталей трансмиссии. Ус-

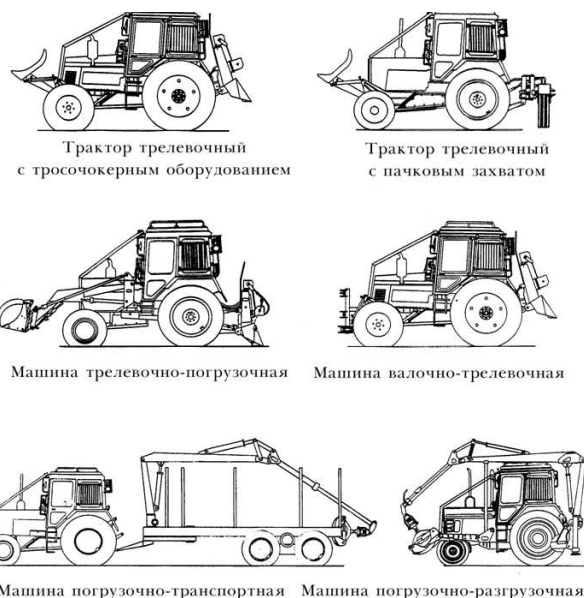


Рис. 2. Семейство трелевочных машин с жесткой рамой

Проведенные нами исследования на лесопромышленных предприятиях страны показали, что у трелевочного трактора ТТР-401 наиболее часто выходят из строя зубчатые пары и шлицевые соединения конических передач переднего моста (рис. 3, 4), приводя к необходимости внепланового ремонта, требующего, как

правило, работы в лесу. Согласно принятому на МТЗ технологическому процессу, данные детали изготавливаются из стали 25ХГТ и подвергаются цементации для получения слоя с поверхностной твердостью 60–62 HRC и глубиной 1–1,5 мм.



Рис. 3. Полуось конического редуктора переднего ведущего моста трелевочного трактора

Основной причиной разрушения зубьев является сочетание интенсивного изнашивания и усталостного выкрашивания (рис. 5), приводящее к полной потере работоспособности редуктора.



Рис. 4. Изношенные зубья вала-шестерни редуктора переднего ведущего моста ТТР-401

Поэтому для увеличения надежности лесозаготовительной техники предлагается применение различных способов поверхностного упрочнения ее деталей на стадиях изготовления или ремонта с обеспечением более высокой твердости и износостойкости.

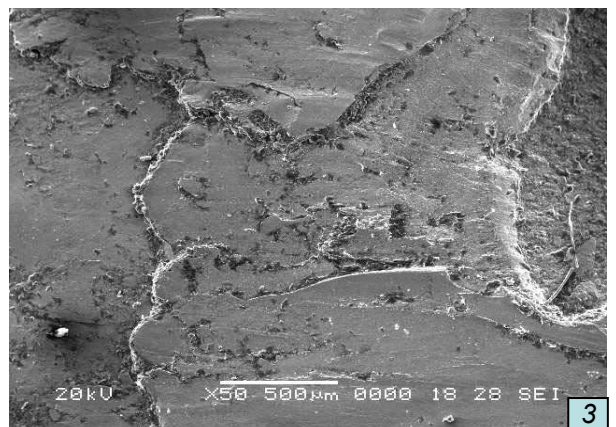
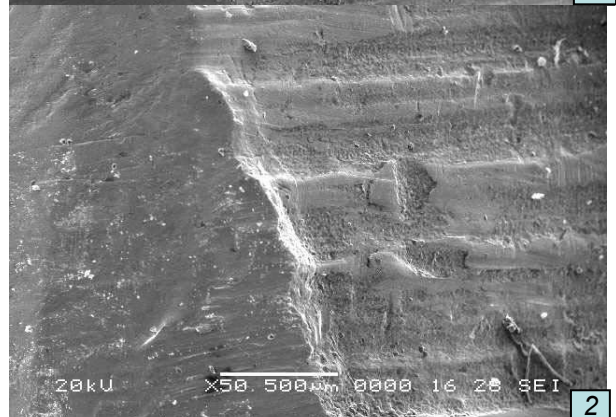
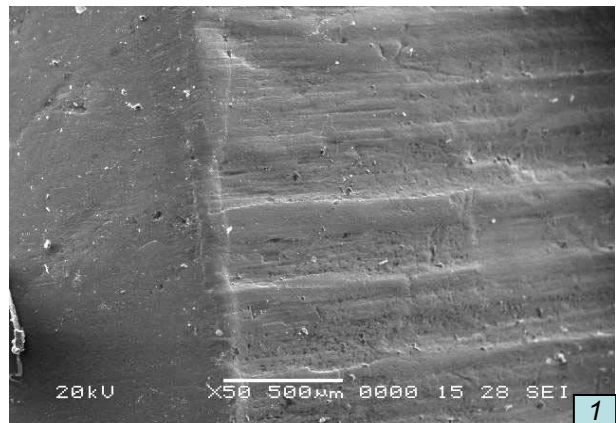


Рис. 5. Поверхность износа зубьев при наработке: 1 – 150; 2 – 400; 3 – 850; 4 – 1200 моточасов

2. Технология процесса борирования.

Процесс химико-термической обработки, заключающийся в диффузионном насыщении поверхностного слоя стали бором, при высокотемпературной выдержке в соответствующих насыщающих средах является одним из наиболее эффективных и универсальных процессов ХТО.

В зависимости от среды, в которой ведется процесс, различают следующие способы поверхностного насыщения бором: твердое борирование, газовое борирование в среде борсодержащего газа, жидкостное борирование и электролизное борирование в расплавленных борсодержащих солях.

С учетом существующих в настоящее время лесозаготовительных и ремонтных предприятий наиболее предпочтительным вариантом является твердое борирование. Из известных в настоящее время насыщающих сред для данного процесса предпочтение следует отдать порошковым смесям на основе технического карбида бора.

К основным недостаткам борирования в порошке карбида бора следует отнести высокую стоимость насыщающей смеси. Однако согласно данным Л. Г. Ворошнича [4], порошок карбида бора может использоваться для насыщения многократно (от 10 до 30 раз). Это значительно удешевляет процесс обработки деталей. Остальные же насыщающие среды регенерируют после 2–5 циклов борирования путем добавки к отработанной смеси 10–30% свежей.

Необходимыми условиями формирования боридных слоев на поверхности стальной детали являются следующие: наличие у насыщаемой поверхности достаточной концентрации активного атомарного бора; температура и длительность выдержки, обеспечивающие протекание диффузии атомарного бора в сталь с образованием химических соединений – боридов железа.

Согласно данным, полученным в работе [5], образование борированного слоя в порошковых смесях протекает медленно из-за низкой реакционной способности этой среды, а малая теплопроводность порошков обуславливает необходимость длительного прогрева контейнера, что также существенно влияет на продолжительность процесса борирования.

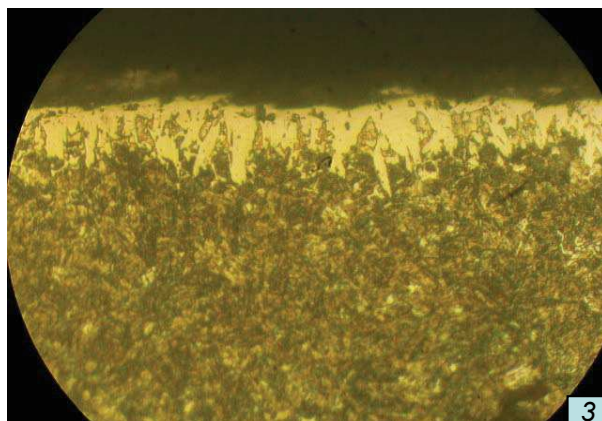
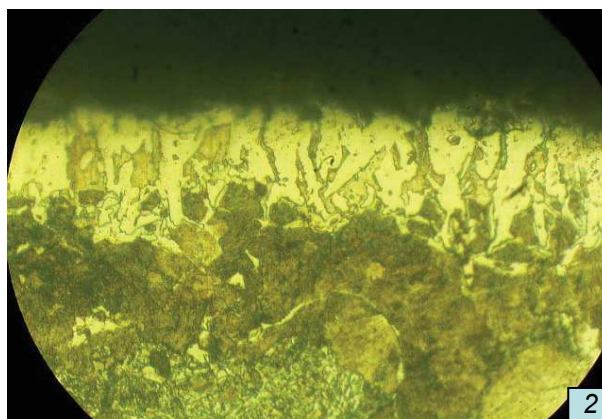
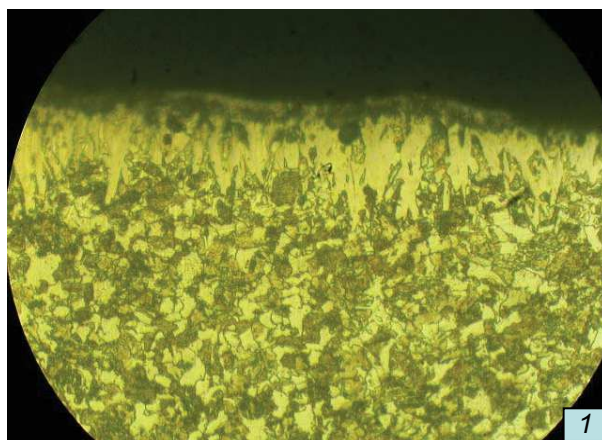
Состав для борирования металлов приготавливался смешиванием порошков исходных компонентов. Для получения высокой газопроницаемости и уменьшения запыленности применялся карбид бора зернистостью № 8–16.

Смесь порошков, взятых в соответствующей пропорции, загружается вместе с насыщаемыми образцами в контейнер с плавким затвором и выдерживается 3,5 ч в трубчатой печи при температуре 890°C с последующим охлаждением на

воздухе. После охлаждения образцы извлекались из печи, очищались от порошка и проводилась финишная термообработка.

3. Особенности структуры борированного слоя. Проведенные исследования показали, что структура и рост слоя боридов зависят не только от условий борирования, но и в значительной степени от химического состава стали, из которой изготовлены детали (рис. 6, 7).

Наилучшая связь слоя боридов с основным материалом имеет место в случае нелегированной или малолегированной стали. Повышение содержания хрома, ванадия, вольфрама и молибдена, а также углерода ограничивает рост общей толщины слоя и снижает его зазубренность, что отрицательно сказывается на связи между слоем боридов и основным металлом [6].



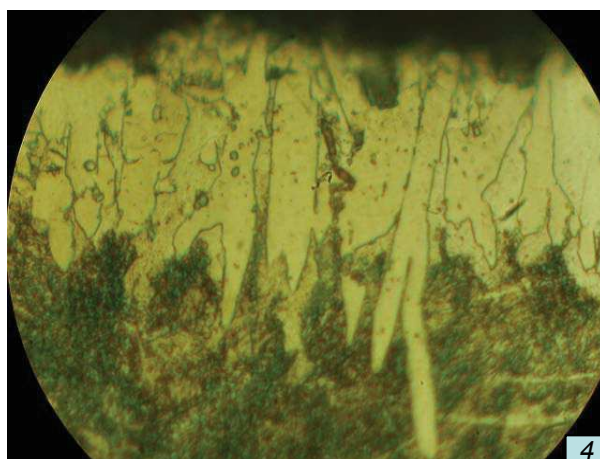
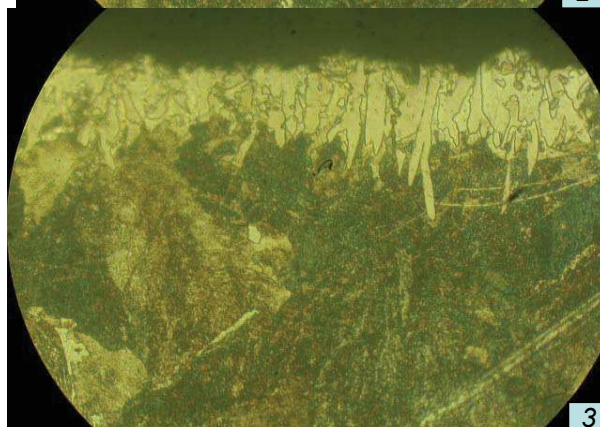
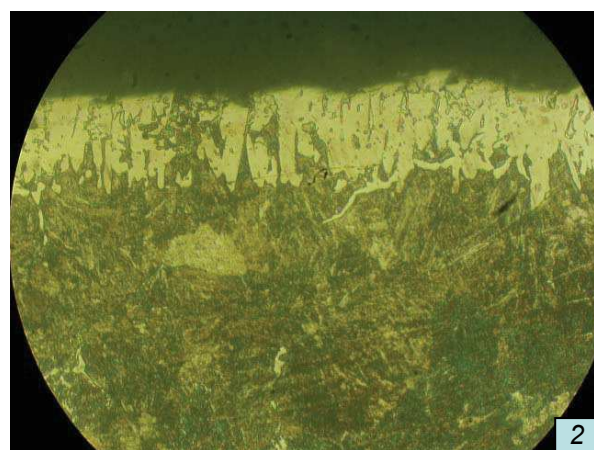
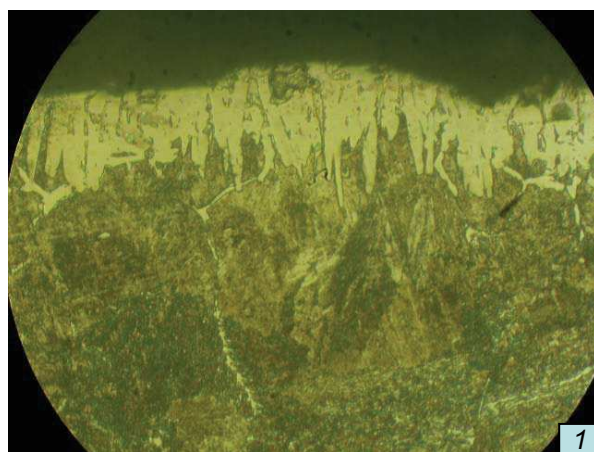
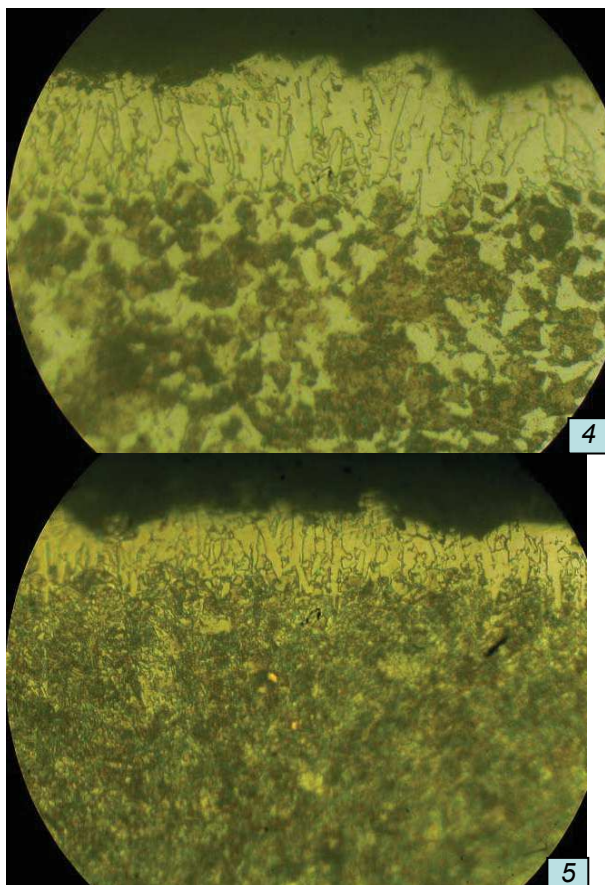


Рис. 6. Поверхность шлифов образцов из марки стали 25 ХГТ при различных составах и режимах обработки соответственно:
 1 – В, 820°С, 3 ч; 2 – (В–Si), 890°С, 3 ч;
 3 – (В–Si), 820°С, 3 ч; 4 – (В–Si–Al), 890°С, 3 ч;
 5 – (В–Si–Al), 820°С, 3 ч

Установлено, что после проведения диффузионного насыщения и термообработки под борированным слоем создается зона, отличающаяся по свойствам и структуре от исходной стали (сердцевина). Эта зона, обогащенная углеродом и бором, обладает большей закаливаемостью, чем сердцевина, и поэтому при охлаждении на воздухе с температуры борирования она подкаливается с образованием крупнозернистых и неоднородных структур закалки.

Рис. 7. Поверхность шлифов образцов из марок стали 40 X (1, 2) и стали 45 (3, 4) при разных составах и режимах обработки соответственно:
1, 2 – (B–Si–Al), 890°C, 3 ч;
3, 4 – (B–Si–Al), 890°C, 3 ч

Крупное зерно уменьшает твердость слоя и способствует его разрушению при ударных нагрузках.

4. Исследование свойств поверхностного слоя. Наряду с анализом структуры поверхностного слоя, полученного при различных составах обработки, проведены эксперименты по оценке его эксплуатационных характеристик.

На рис. 8 представлена диаграмма изменения микротвердости по толщине поверхностного слоя.

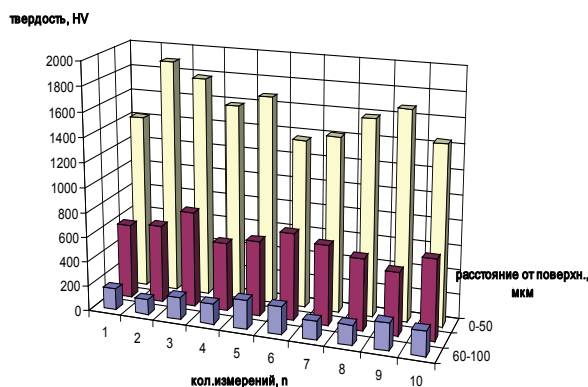


Рис. 8. Распределение микротвердости по глубине зубьев для стали 25XGT (B–Si–Al), 890°C, 3 ч

Можно выделить три зоны с соответствующей микротвердостью: зона, насыщенная бором, кремнием и алюминием (1400–1900 HV), переходная зона (500–600 HV) и сердцевина (150–200 HV).

Благодаря разработанному нами составу для борирования металлов, хрупкость диффузионного слоя после обработки значительно уменьшается, тем самым создаются более благоприятные условия против выкрашивания частиц с поверхности детали. При борировании деталей в первую очередь стремятся к образованию однофазного слоя Fe₂B. В случае образования двухфазного слоя он состоит из насыщенного бором темного слоя FeB и лежащего глубже светлого слоя Fe₂B. Хотя слой FeB лишь немного тверже слоя Fe₂B, он гораздо более хрупкий. В ряде случаев весьма затруднительно формирование однофазного слоя. Чтобы решить проблему с хрупкостью слоя, предложено дополнительно ввести в состав насыщающей смеси кремний.

Из анализа результатов исследований условий эксплуатации определены параметры испытаний, моделирующие условия эксплуатации ряда быстроизнашивающихся деталей машин, работающие в условиях минимальной (граничной) смазки. Величина износа определялась по

абсолютной потере веса при прохождении пути при возвратно-поступательном движении (рис. 9).

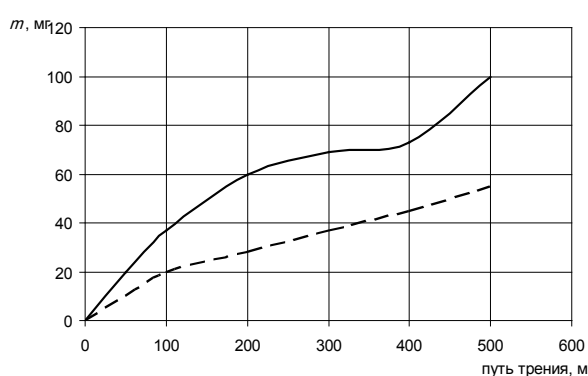


Рис. 9. Кинетика изнашивания образцов, прошедших цементацию (1) и борирование (2)

Испытания проводились на специально сконструированной и изготовленной в БГТУ установке. Конструкция установки обеспечивает использование образцов простой (прямоугольной) формы со смазкой и без нее, со скоростью скольжения от 0,4 до 2,5 м/с и значительным удельным давлением.

Заключение. На основе анализа условий работы и причин разрушения определены детали трансмиссии трелевочных тракторов, требующие повышения твердости и износостойкости поверхностного слоя, установлен механизм их разрушения.

Предложена технология поверхностного упрочнения в различных порошковых смесях. Изучены структура и свойства полученных поверхностных слоев. Поскольку детали трансмиссии работают в условиях динамического нагружения, рекомендовано проведение их упрочнения в смесях, содержащих бор, кремний и алюминий. Показано, что обработка в предложенном составе обеспечивает существенное повышение износостойкости.

Литература

1. Колякин, Л. А. Исследование динамических нагрузок трансмиссии колесного трелевочного трактора: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Л. А. Колякин. – Йошкар-Ола, 1972. – 23 с.
2. Колякин, Л. А. Экспериментальное исследование динамических нагрузок в силовой передаче колесного трелевочного трактора / Л. А. Колякин // Труды ЦНИИМЭ. – 1970. – № 103. – С. 104–111.
3. Громов, Д. И. Исследование динамических нагрузок в силовой передаче колесного трактора: дис. ... канд. техн. наук / Д. И. Громов. – Минск, 1962. – 162 л.
4. Ворошнин, Л. Г. Борирование промышленных сталей и чугунов / Л. Г. Ворошнин. – Минск, 1981.
5. Гуревич, Б. Г. Электролизное борирование стальных изделий / Б. Г. Гуревич, Е. А. Говязина. – М., 1976.

6. Многокомпонентные диффузионные покрытия / Л. С. Ляхович [и др.]. – Минск, 1974.