

ОБЩЕИНЖЕНЕРНЫЕ ВОПРОСЫ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

УДК 621.785.532

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА БОРИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ЛЕСНЫХ МАШИН

The article dwells upon the analysis of the results obtained in investigation steel parts reinforced with boratong. The wood industry of Byelorussia is submitted by the wood and timber industry enterprises which are equipped with various techniques. Modern the enterprises equipment of branch by machines is characterized by process accelerated.

Their use considerably raises lab our productivity, eliminates manual skills on separate phases of manufacture. Technical armament of the enterprises of forestry and the wood industry continuously grows, designs of machines and mechanisms are improved.

Введение. В настоящее время к трелевочным тракторам предъявляют высокие требования по повышению энергонасыщенности, маневренности, проходимости, которые должны обеспечивать работу трактора на лесных грунтах. В связи с этим нагрузки на системы трансмиссии резко возрастают, что приводит к быстрому изнашиванию рабочих поверхностей, усложнению конструкции трактора и понижению надежности его деталей и узлов (рис. 1).



Рис. 1. Трелевочный трактор ТТР-401

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.

1. Анализ причин разрушения деталей трансмиссии трелевочного трактора. Работа трелевочного трактора ТТР-401 постоянно сопровождается наездами на препятствия разного

рода: пни, валежник, микронеровности, валуны, и т. д. Нагрузки на трансмиссию также обеспечивают постоянные трогания с места при трелевке пачка деревьев. Л. А. Калякин [1, 2] показал, что динамические крутящие моменты в трансмиссии колесного трактора имеют наибольшее значение при интенсивном трогании с места.

Установлено, что для колесных трелевочных тракторов ТТР-401 производства МТЗ наиболее нагруженными являются шестерни третьей и четвертой передачи, а также редуктор переднего моста (рис. 2). По процентному соотношению трелевочный трактор ТТР-401 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. 2. Передний ведущий мост трелевочного трактора ТТР-401

Проведенные нами исследования показали, что у трелевочного трактора ТТР-401 наиболее часто выходят из строя конические передачи переднего моста (рис. 3), приводя к необходимости внепланового ремонта, требующего как правило, работы в лесу. Основной причиной разрушения зубьев является сочетание интенсивного изнашивания и усталостного выкрашивания, приводящее к полной потере работоспособности редуктора (рис. 4, 5, 6).

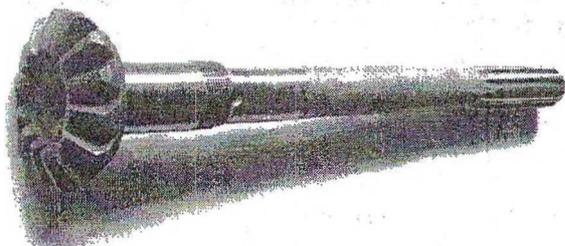


Рис. 3. Вал-шестерня редуктора переднего ведущего моста

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.

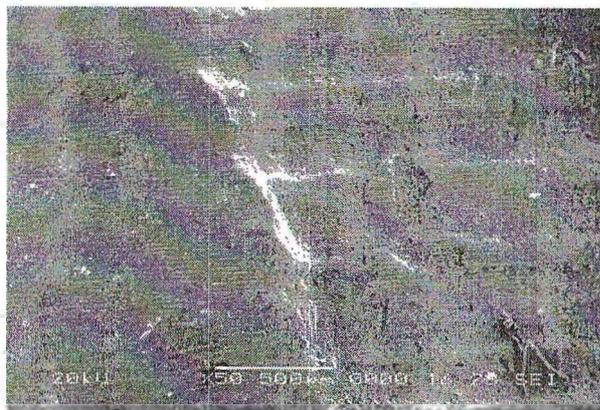


Рис. 4. Поверхность износа зубьев при наработке 400 моточасов

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. 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 по-

верхностного насыщения бором: твердое борирование, газовое борирование в среде борсодержащего газа, жидкостное борирование в расплавленных борсодержащих солях, электролитное борирование в расплавленных борсодержащих солях. Из известных в настоящее время насыщающих сред для твердого борирования предпочтение следует отдать порошковым смесям на основе технического карбида бора.

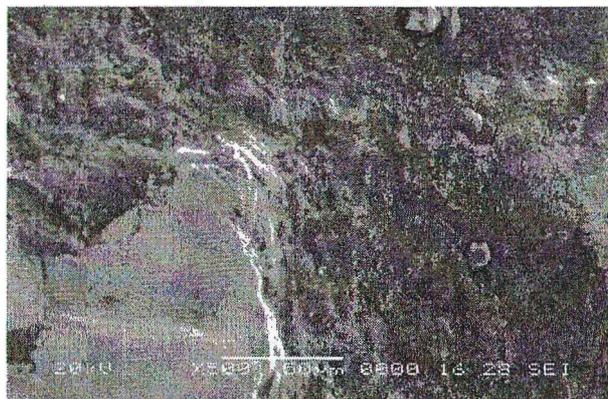


Рис. 5. Поверхность износа зубьев при наработке 1200 моточасов

2. Технология процесса борирования деталей. К основным недостаткам борирования в порошке карбида бора следует отнести высокую стоимость насыщающей смеси. Однако, согласно данным Л. Г. Ворошнина [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 активного атомарного бора; температура и длительность выдержки, обеспечивающие протекание диффузии атомарного бора в сталь с образованием химических соединений – боридов железа.

Согласно данным Б. Г. Гуревича [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 готовят смешиванием порошков исходных компонентов. Для получения высокой газопроницаемости и уменьшения запыленности применяют 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 часа в трубчатой печи при температуре 950°C с последующим охлаждением на воздухе. После охлаждения образцы достают из печи и очищают их от порошка.



Рис. 6. Изношенные зубья вала-шестерни редуктора переднего ведущего моста ТТР-401

Как правило, отделение смеси от поверхности деталей не представляет затруднений. С целью устранения припекания карбида бора (смеси) к поверхности обрабатываемых изделий рекомендуется извлекать детали из контейнера при температуре не ниже 150–180°C.

Вал-шестерня переднего моста трелевочного трактора ТТР-401, прошедшая дополнительное упрочнение в составе, разработанном на кафедре деталей машин и ПГУ, представлена на рис. 7. Обработке подвергались только зубья шестерни. О результатах насыщения судили по данным металлографического и рентгеновского анализов.

После прохождения дополнительной обработки в контейнере вал-шестерня закаливалась в соляной ванне при температуре 820–830°C и была подвергнута отпуску. Согласно данным Б. Г. Гуревича [5], нагрев под закалку не следует проводить в камерных электропечах, так как из-за малой скорости нагрева в них происходят интенсивное окисление и растрескивание борированного слоя, которое в момент закалки сопровождается образованием значительного числа сколов, достигающих иногда до основного металла. Поэтому нагрев деталей при объемной закалке рекомендуется проводить в соляных ваннах.

3. Структура и свойства борированного слоя. На рис. 8 представлен химический состав фазы FeSi, образующейся в ходе обработки детали на расстоянии 50–100 мкм от поверхности насыщения стали 25ХГТ. Данная марка стали широко применяется на Минском тракторном заводе и Минском заводе шестерен для получения валов-шестерен и других зубчатых колес различного назначения.



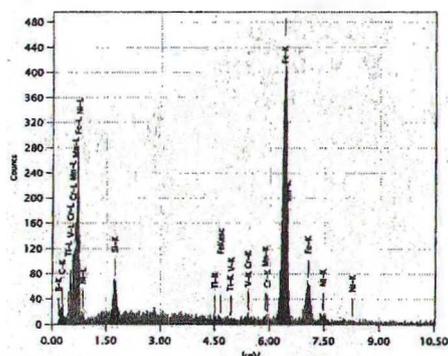
Рис. 7. Испытуемый образец

Благодаря разработанному нами составу для борирования металлов хрупкость диффузионного слоя после обработки значительно уменьшается, тем самым создаются оптимальные условия против выкрашивания частиц с поверхности детали. Дополнительное содержание в насыщающей смеси кремния объясняется еще следующими фактами. При борировании деталей в первую очередь стремятся к образованию однофазного слоя Fe₂B. Двухфазный слой в случае его образования 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. Поэтому всеми способами добиваются формирования однофазного слоя Fe₂B, что в ряде случаев весьма затруднительно. Чтобы решить проблему с хрупкостью слоя, предложено дополнительно ввести в состав насыщающей смеси кремний (рис. 9).

Установлено, что после проведения обработки под борированным слоем создается зона, отличающаяся свойствами и структурой от исходной стали (сердцевины). 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. Крупное зерно уменьшает твердость слоя и способствует его разрушению при ударных нагрузках.

Поэтому для предотвращения хрупких разрушений борированных деталей необходима термообработка, назначение которой заключается в измельчении зерна и, соответственно, повышении твердости.

После проведения финишной термообработки в поверхностном слое детали выделяют три зоны с соответствующей микротвердостью: зона, насыщенная бором и кремнием (1380–1450 HV), переходная зона (700–800 HV) и сердцевина (180–300 HV).



File: Untitled
 Specimen ID:
 Date: 19-Apr-06 12:58:07

Acquisition Parameters:
 Acc. Voltage : 20.0 kV Probe Current : 1.00000 nA
 Real Time : 18.92 sec Dead Time : 22 %
 Live Time : 14.91 sec Counting Rate : 1286 Counts/s
 Presat : Real Time 10000000 sec
 Energy Range : 0 - 20 keV PHA Mode : T3

ZAF Method Standardless Quantitative Analysis						
Fitting Coefficient : 0.3182						
Element	(keV)	mass%	Stroz%	Act	Compound	mass%
B K*						
C K*	0.277	11.45	0.37	36.72		2.4905
Si K*	1.738	3.35	0.19	4.59		2.0862
Ti K*	4.508	0.05	0.21	0.04		0.0611
V K*						
Cr K*	5.411	0.64	0.26	0.47		0.6493
Mn K*	5.894	1.86	0.36	1.31		2.0469
Fe K*	6.398	79.55	0.37	54.85		89.3788
Ni K*	7.471	3.09	0.65	2.02		3.0881
Total		100.00		100.00		

Рис. 8. Химический состав стали 25ХГТ после дополнительного борирования на расстоянии 50–100 мкм от поверхности

Для того что бы реализовать высокую износостойкость самого борированного слоя, необходимо создать под ним твердое основание. Установлено: при толщине борированного слоя в пределах от 70 до 100 мкм он лучше переносит ударные и динамические нагрузки. Поэтому, как показали проведенные испытания, сочетание тонкого борированного слоя и твердого основания обеспечивает увеличение срока службы зубчатых передач трансмиссии лесных машин в 1,5–2 раза.

На рис. 10 представлена зависимость глубины борированного слоя от времени насыщения. Установлено, что наиболее оптимальными является толщина 70–100 мкм, соответствующая времени выдержки 3–4 ч.

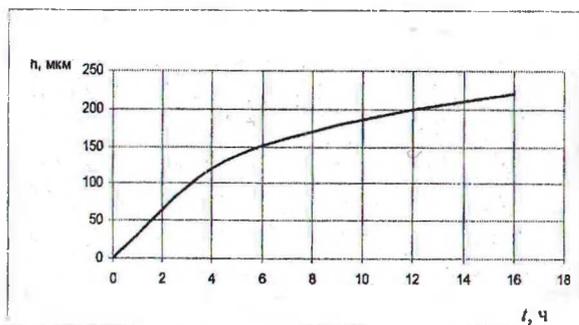
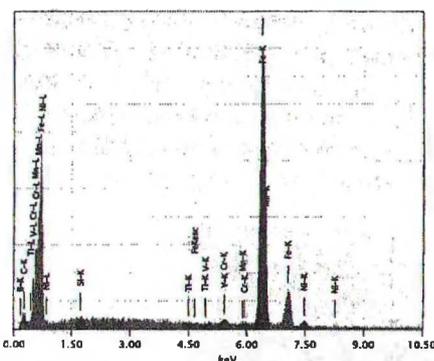


Рис. 10. Зависимость глубины борированного слоя от времени насыщения для стали 25 ХГТ

Дальнейшее увеличение времени насыщения ведет к увеличению глубины борированного слоя. Доказано, что после выдержки 17 ч. и выше глубина слоя практически не изменяется.



File: Untitled
 Specimen ID:
 Date: 19-Apr-06 13:00:16

Acquisition Parameters:
 Acc. Voltage : 20.0 kV Probe Current : 1.00000 nA
 Real Time : 41.29 sec Dead Time : 20 %
 Live Time : 32.38 sec Counting Rate : 1216 Counts/s
 Presat : Real Time 10000000 sec
 Energy Range : 0 - 20 keV PHA Mode : T3

ZAF Method Standardless Quantitative Analysis						
Fitting Coefficient : 0.2633						
Element	(keV)	mass%	Stroz%	Act	Compound	mass%
B K*	0.183	13.23	0.48	13.54		1.6218
C K*	0.277	13.30	0.46	30.34		2.2162
Si K*	1.739	0.18	0.13	0.18		0.1391
Ti K*	4.508	0.10	0.15	0.05		0.1320
V K*						
Cr K*	5.411	0.56	0.18	0.30		0.8810
Mn K*	5.894	1.27	0.26	0.64		1.6394
Fe K*	6.398	68.89	0.27	33.81		90.4567
Ni K*	7.471	2.47	0.46	1.15		2.9339
Total		100.00		100.00		

Рис. 9. Химический состав стали 25ХГТ после дополнительного борирования на расстоянии 25–50 мкм от поверхности

Выводы. Разработанный на кафедре деталей машин и ПТУ состав для борирования металлов позволяет увеличить до отказа наработку деталей трансмиссии лесных машин в 1,5–2 раза.

Установлено, что наиболее оптимальными являются следующие параметры процесса: глубина борированного слоя должна находиться в пределах от 25 до 100 мкм. Этому соответствуют температура процесса 900–1000°C и время насыщения 3–4 ч. После обработки необходимо обязательно провести закалку в соляной ванне с последующим отпуском.

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 передачи колесного трелевочного трактора / Л. А. Колякин // Труды ЦНИИМЭ. – 1970. – № 103. – С. 104–111.
3. Громов, Д. И. Исследование динамических нагрузок в силовой передачи колесного трактора: дис. ... канд. техн. наук / Д. И. Громов. – Минск, 1962. – 162 с.
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.