

Рис. 2. Микроструктура микрообъектов из стали Р6М5 и Х6ВФ после насыщения углеродом и азотом стали Р6М5: а – 550 °С; б – 600 °С; в – 700 °С; г – 860 °С; д – Х6ВФ: е – 550 °С; ×500

Насыщение углеродом, азотом и бором проводилось ступенчато. При температуре 600 °С насыщение осуществлялось углеродом и азотом, далее температура поднималась до 900 °С, при которой осуществлялся процесс борирования. На рисунке 3 а, б представлены микроструктуры нитроцементованной стружки с последующим борированием. Как видно из них, сердцевина содержит повышенное количество белых включений карбидов и карбонитридов, а на поверхности имеются боридные фазы (белый слой).

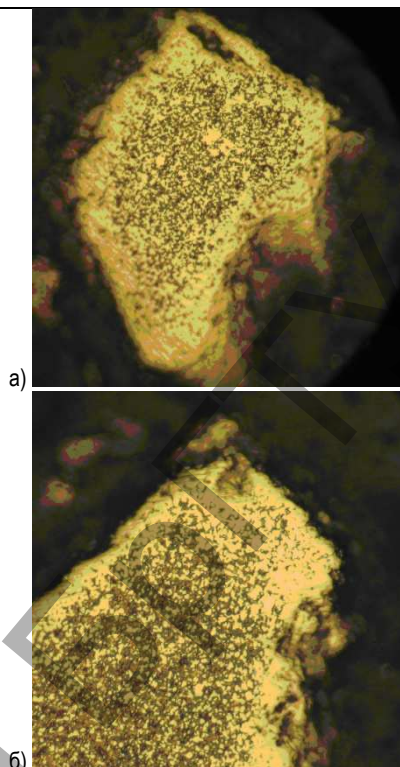


Рис. 3. Микроструктура стружки сталей после нитроцементации 600 °С 1 час и борирования 900 °С 1 час: а – Р6М5, б – Х6ВФ, ×1000

Заключение. Установлено, что при насыщении углеродом, азотом проникновение углерода и азота происходит на всю толщину стружки, а при последующем борировании на поверхности появляются боридные фазы. С увеличением температуры ХТО от 550°С насыщения нитроцементации толщина ϵ -фазы увеличивается, и при температуре 860°С ϵ -фаза не образуется, а происходит сквозное насыщение.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лифшиц, Л.С. Наплавочные материалы и технология наплавки для повышения износостойкости и восстановления деталей машин // Сварочное производство, 1991.
2. Ворошнин, Л.Г. Теория и практика получения защитных покрытий с помощью ХТО / Л.Г. Ворошнин, Ф.И. Панталеенко, В.М. Константов, 2001.

Материал поступил в редакцию 11.10.11

STEFANOVICH A.V. Research of structure of the diffusion-alloyed waste instrumental steel

In article the possibility diffusion alloying powder materials from carbonaceous steel and their application for putting wearproof coverings of rubbing details of cars is considered. For research are used shaving waste instrumental steel and them alloying in the environment of carbon, nitrogen and a pine forest.

УДК 621.78:631.311

Ткаченко Г.А.

ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН, ВЫПОЛНЕННЫХ ИЗ КОНСТРУКЦИОННЫХ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Характерными примерами основных рабочих органов почвообрабатывающих машин являются: долота, лемеха, отвалы, полевые доски плугов. Рабочие органы наиболее существенно влияют на качество процесса обработки почвы, а также определяют надежность и долговечность работы почвообрабатывающей машины.

В процессе эксплуатации детали корпусов плугов подвергаются интенсивному воздействию абразивных частиц почвы, ударных нагрузок и окружающей среды. Поэтому при выборе материала рабочего органа необходимо учитывать следующие основные факторы: прочность, пластические свойства, износостойкость.

Ткаченко Г.А., ассистент кафедры материаловедения в машиностроении Белорусского национального технического университета. Беларусь, БНТУ, 220013, г. Минск, пр. Независимости, 65.

В настоящее время отечественные производители для изготовления рабочих органов плугов применяется конструкционная сталь марки 65Г. Из этого материала изготавливают полевые доски, лемеха, отвалы, груды отвала, долота. Для повышения износостойкости применяют термическую обработку, которая состоит из объемной закалки и среднего отпуска, при этом твердость детали получается в пределах 45...50 HRC.

Зарубежные производители, такие как «KVERNELAND» (Норвегия), «RABEWERK» и «LEMKEN» (Германия), «HWARD» (Франция), «OVERUM» (Швеция), «PARAPLAW» (Англия), «RABA» (Венгрия) выпускают рабочие органы плугов из прочных легированных сталей, имеющих временное сопротивление 1600...2000 МПа, а твердость на поверхности и сердцевине рабочего органа достигает 50...55 HRC.

Фирма KVERNELAND использует для своих деталей сталь, аналог нашей стали 40ХГР. Как показал металлографический анализ образцов, вырезанных из деталей, структура по сечению представляет собой мелкодисперсный игольчатый мартенсит с небольшим количеством остаточного аустенита и твердостью на поверхности и в сердцевине деталей порядка 50...55 HRC, при этом размер зерна очень мелкий и соответствует 10 баллам. Можно предположить, что детали подвергались термической обработке, заключающейся в объемной закалке и низком отпуске. Полученная структура придает необходимый уровень износостойкости, а мелкое зерно, небольшое содержание углерода и легирующие элементы в стали обеспечивают ударную вязкость.

Продукция под торговой маркой Kverneland в зависимости от почвенно-климатических условий эксплуатации имеет следующую примерную наработку деталей до достижения предельного состояния: плужный лемех – от 8 до 34 га, накладное долото – от 4 до 20 га, полевая доска и груды отвала – от 19 до 80 га, отвал плуга – от 100 до 420 га [1]. Меньшие из этих значений соответствуют условиям вспашки песчаных почв, большие – условиям вспашки суглинистых и глинистых почв. Отечественные детали корпусов плугов имеют ресурс наработки в 1,5...2,0 меньше западных аналогов.

Для повышения надежности и эксплуатационных характеристик деталей корпусов плугов выпускаемыми предприятиями РБ необходимы решения, для реализации которых не требуется замены используемых материалов на дорогостоящие и оборудования на предприятиях. Поэтому был проведен анализ возможности применения химико-термической обработки для упрочнения режущих элементов плугов, в частности долот.

Долото – это рабочая часть корпуса плуга, которая служит для подрезания пласта почвы ее подъема и направления на отвал (рис. 1). В основном детали получают методом штамповки из листового металла, а затем подвергают традиционному способу термической обработки.



Рис. 1. Детали корпуса плуга производства РУП «МЗШ»

Как правило, рабочий орган почвообрабатывающих машин из низколегированной конструкционной стали (марка 65Г), подвергнутый термической обработке, имеет небольшой ресурс эксплуатации в полевых условиях из-за следующих недостатков:

- детали после закалки и среднего отпуска имеют твердость 45...50 HRC на поверхности и сердцевине с микроструктурой троостита, которая не обеспечивает достаточной износостойкости при эксплуатации рабочего органа. Однако такая струк-

тура является оптимальной для придания детали удовлетворительной ударной вязкости (30 Дж/см²);

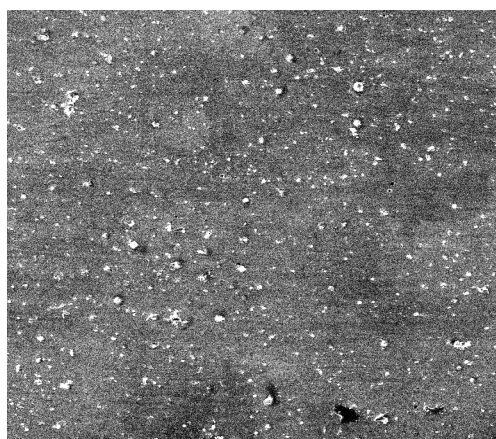
- детали, подвергнутые закалке и низкому отпуску, имеют твердость на поверхности и сердцевине 55...60 HRC со структурой мартенсита отпуска и остаточного аустенита. Такая структура является износостойкой и подходит для работы в жестких абразивных условиях, однако обладает малой ударной вязкостью (15 Дж/см²) и сильный удар о камень приводит к хрупкому разрушению рабочего органа по крепежным отверстиям, которые являются концентраторами напряжений.

Для повышения ресурса эксплуатации долот необходимо решить задачу о повышении твердости поверхности режущей части и повышении ударной вязкости сердцевины, что устранило бы хрупкое разрушение по крепежным отверстиям. Поэтому было принято решение о замене стали 65Г на сталь 40Х. Долота из стали 40Х были подвергнуты совместному диффузионному насыщению углеродом и азотом с последующей термоциклической обработкой. Термоциклирование было направлено на измельчение аустенитного зерна стали с целью получения более высокой ударной вязкости после закалки и отпуска. Закалку стального изделия выполняли специальным образом, чтобы изменить однородную (гомогенную) структуру крепежной части изделия на неоднородную (макрогетерогенную) структуру поверхности, сердцевине рабочего органа придав высокую твердость, механическую прочность.

Предварительная химико-термическая обработка изделий выполнялась при 850 °С в течение 7 часов. После длительного диффузионного насыщения в поверхностном слое был сформирован нитроцементованный слой с концентрацией углерода 0,9...1,1 %. Последующая термоциклическая обработка проводилась по режиму с полными фазовыми превращениями в диапазоне температур 600...870 °С. Полученные результаты позволили установить ряд закономерностей структурообразования и изменений механических свойств.

После нитроцементации с последующей индукционной термоциклической обработки диффузионный слой стали 40Х представлял собой совокупность равномерно распределенных мелкодисперсных карбидов и нитридов в мартенситной матрице с остаточным аустенитом (10 %). Установлено, что при многократных теплосменах в диффузионном слое происходит новообразование карбидов и их измельчение, рисунок 2. В процессе многократной фазовой перекристаллизации при ТЦО в высокоуглеродистом аустените протекают процессы перераспределения углерода и выделения цементита. При повторном нагреве выделившиеся частицы цементита практически не растворяются при максимальной температуре, так как скорость нагрева высока и времени для их растворения недостаточно. Температурно-временные параметры циклической обработки способствуют появлению карбидов в каждом цикле охлаждения, в результате площадь карбидной фазы заметно больше, нежели в стационарном режиме насыщения, рисунок 2. Образование мелкодисперсных карбидов (диаметр от 2 мкм) и нитридов привело к значительному уменьшению длины игл мартенсита с (12 мкм до 4...8 мкм) в нитроцементованном слое, что повлияло на твердость диффузионного слоя – она возросла с 60 HRC (закалка, низкий отпуск) до 66 HRC (ТЦО, закалка, низкий отпуск).

Основными механическими испытаниями стали служили проверки на ударную вязкость образцов, вырезанных из оборотных долот, упрочненных по разрабатываемой технологии. Проверку проводили на образцах сталей 40Х и 65Г. Далее образцы разделили на части, которые были вырезаны с рабочей части долота (структура мартенсита) и с крепежной части (структура троостита). В качестве контрольного образца использовали те же стальные образцы, но без ТЦО, а упрочненные по технологии: закалка и средний отпуск (380 °С), закалка и низкий отпуск (180 °С). Образцы для ударной вязкости были выбраны без надреза, что допускается методикой испытаний.



а) ×400



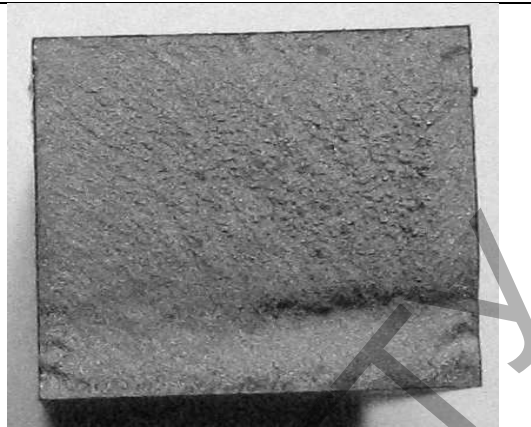
б) ×400

а – циклическая ТО, закалка; б – закалка, низкий отпуск

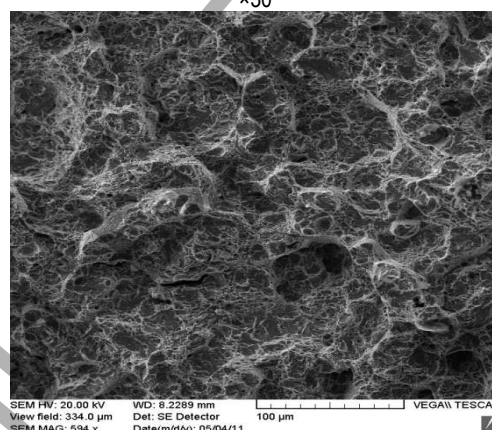
Рис. 2. Карбидные включения в диффузионном слое стали 40X под электронным микроскопом

Результаты оказались схожими с другими данными, полученными в работах по термоциклическому упрочнению. Ударная вязкость образцов после циклической обработки выше, чем без нее. Упрочненные образцы имеют фарфоровидный излом, характерный для правильно закаленной стали, с матовой поверхностью и мелким зерном. Именно такая картина и наблюдалась на образцах стали после циклической обработки. Смешанный излом характерен для закалки и среднего отпуска. На изломе присутствуют участки хрупкого разрушения, а также плоские блестящие участки с бугристо сглаженным рельефом, свидетельствующие о значительной пластической деформации, вязком разрушении (рисунок 3). Максимальная ударная вязкость была получена при двукратном циклическом упрочнении, которое было проведено по схеме с полным фазовым превращением. Повышение работы по разрушению образца связано с мелким зерном аустенита в диффузионном слое и сердцевине образца, полученном перед закалкой.

Стальные образцы (марка 40X), вырезанные из режущей части долота, имели ударную вязкость 35 Дж/см², образцы взятые из крепежной части изделия разрушились при работе 60 Дж/см². Ударная вязкость контрольной группы образцов из стали 65Г, упрочненных закалкой и средним отпуском, составила 25 Дж/см², а закалка и низкий отпуск – 15 Дж/см².



×30



×600

Рис. 3. Излом стали 40X после нитроцементации циклической ТО и низкого отпуска

Таким образом, циклическая термическая обработка после нитроцементации позволяет повысить конструкционную прочность стального образца, в частности, ударную вязкость. Положительный результат термоциклирования заключается в измельчении структур карбида, феррита и перлита, что при нагреве увеличивает число центров образования аустенитного зерна перед термической обработкой (закалка, отпуск). Очевидным преимуществом циклического упрочнения после ХТО стало то, что ударная вязкость образцов (сталь 40X) с мартенситной структурой выше, чем троостита (сталь 65Г), полученного закалкой и средним отпуском. Результат составил 35 Дж/см² против 25 Дж/см² соответственно. Максимальная ударная вязкость достигается при двукратном циклическом нагреве, дальнейшая циклическая обработка (4 цикла и более) не увеличивает вязкость разрушения.

Испытания экспериментальной партии упрочненных изделий проводились в агрокомбинатах. Базой для определения эффективности упрочнения служили детали серийного производства РУП «МЗШ» и фирмы «Kverneland». Конструкция и геометрические размеры деталей были одинаковыми, отличия заключались в механических свойствах, таблица 1.

В ходе испытаний проводилась оценка показателей надежности упрочненных деталей на базе СПК «Валевачи», СПК «Запольский», МРСУП совхоз «Волма» и СПК «Петровичи» на вспашке стерни и многолетних трав на торфяно-глебовых почвах влажностью 47...45% и средних суглинках влажностью 18...23%. Засоренность почвы камнями со средним диаметром 65 мм составила 0,6...1,4 шт./м². Условия проведения испытаний в целом соответствовали требованиям СТБ 1388-2003.

Интенсивность изнашивания обратных долот определялась изменением линейных размеров за количество пройденных гектар. В ходе полевых испытаний наработка на одно долото составила от 17 до 25 га. Анализ значений линейных размеров, являющихся

Таблица 1. Параметры деталей

Оборотное долото	Материал	Микроструктура лезвийной части	Твердость лезвийной части, HRC	Обработанная площадь одним долотом, га
РУП «МЗШ»	65Г	Троостит	45...50	17
Упрочненное	40Х	Азотсодержащий мартенсит	64...66	25
Kverneland	40ХГР	Мартенсит	50...55	25

выбравочными признаками, показал, что износ упрочненных деталей происходит медленнее серийно выпускаемых в 1,4...1,8 раз. Таким образом, результаты исследований и полевых испытаний позволили предложить технологии упрочнения деталей и внедрить на Минском заводе шестерен.

Заключение

1. Термоциклическая обработка с индукционным нагревом, примененная после нитроцементации, позволяет измельчить микроструктуру стали до 4...6 мкм, за счет чего повышается ударная вязкость как мартенситной структуры (35 Дж/см²), так и трооститной (60 Дж/см²). Многократные фазовые превращения приводят к образованию карбидов при охлаждении стали в цикле. Последующий быстрый нагрев не дает раствориться образованным карбидам, вследствие чего площадь карбидов в нитроцементованном слое больше в 2 раза, чем в диффузионном слое, полученном при стационарном процессе ХТО. Мелкодисперсная структура стали и высокодисперсные карбиды способствуют по-

вышению твердости слоя с 60 HRC (стационарный процесс) до 66 HRC (циклическая обработка).

2. Разработанная схема распределения микроструктур долота и технология упрочнения позволили создать деталь, состоящую из зон, для которых характерна определенная структура, обеспечивающая высокую твердость и износостойкость лезвийной части (легированный мартенсит), прочность и долговечность крепежной части (троостит). Разработка защищена патентом РБ.
3. Полевые испытания показали, что благодаря упрочнению деталей выпускаемых Минским заводом шестерен, их износостойкость сравнялась с западными образцами «Kverneland». Установлено, что износостойкость упрочненных деталей выше серийно выпускаемых деталей в 1,5...1,8 раз, в зависимости от типа почвы.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Checkliste zur Mengenermittlung für den Bedarf an Original Kverneland Ersatzteilen [Electronic resource]: Products & Distribution / Kverneland. – Mode access: <http://www.kvernelandgroup.com>.

Материал поступил в редакцию 03.10.11

TKACHENKO G.A. Thermal cyclic processing of details of soil-cultivating cars executed from constructional low alloyed steel

In work the European approach on hardening of steel products of soil-cultivating machines is analysed. It is established that the European manufacturers use medium-carbon steel containing alloying elements chrome, silicon, manganese and a bor. For increase of mechanical properties of a detail subject to the thermal processing consisting in quenching and tempering. Application of a high-quality and high-strength steel with thermal processing allows to form the complex of operational properties providing an operating time of products to 15 ... 25 hectare depending on conditions of a ploughed land. For home producers increase of competitiveness of own production consists in improvement of operational characteristics of products from already applied steels with chemical compound 0,4% C; 1% Cr, 0,65% C; 1,2% Mn. Received mechanical properties hardness 45 ... 50 HRC, impact strength of 25 J/sm² and breaking strength 1000 МПа provide an operating time of a detail to 15 hectares on soft soil. Therefore the technology consisting in nitrocementation of a surface of a product with the subsequent thermocyclic thermal processing, quenching and low tempering has been developed for reception high tribological and mechanical properties. As a result hardness on a surface has made 64. 66 HRC, impact strength to 60 J/sm² and an operating time to 25 hectares that is comparable to the European manufacturers.

УДК 621.793

Сокоров И.О., Нерода М.В.

ЗАЩИТА ОТ ФРЕТТИНГ-КОРРОЗИИ ОПОРНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ ВАЛОВ, ГАЗОТЕРМИЧЕСКИМ НАПЫЛЕНИЕМ

Введение. Термин «фреттинг» используется для обозначения малого колебательного скольжения между поверхностями двух контактирующих тел. Амплитуда такого движения обычно составляет 1–100 мкм. Изнашивание, возникающее при таком движении, называют фреттинг-изнашиванием [1].

Относительное скольжение является необходимым условием образования фреттинг-коррозии. При постоянной частоте колебаний изменение амплитуды относительного скольжения приводит к изменению скорости относительного перемещения поверхностей, что может сказываться на условиях трения. Это, в свою очередь, может привести к изменению интенсивности развития фреттинг-коррозии [2].

Некоторые экспериментальные данные показывают, что фреттинг-коррозия начинается при весьма малых величинах перемещения. Так, Томлинсон отмечает [3, 4], что повреждение поверхности

наступает даже тогда, когда относительное перемещение составляет несколько межатомных расстояний. Тем не менее часть исследований проводилась и при больших амплитудах (до 2 мм).

При анализе интенсивности фреттинг-коррозии важно установить границу значения амплитуд, которая определяла бы специфику условий разрушения поверхности при фреттинг-коррозии по сравнению с износом при обычном трении скольжения.

В нашем случае важно рассмотреть влияние на фреттинг-коррозию удельной нагрузки, которая зависит от площади контакта трибопары «опорная поверхность вала – буксовая втулка подшипника». В процессе изнашивания изменяется площадь фактического контакта сопряженных поверхностей и глубина поверхностных слоев металла, принимающих участие в процессах трения и разрушения, следовательно, изменяется и удельная нагрузка.

Сокоров Игорь Олегович, к.т.н., доцент кафедры технологии машиностроения Белорусского национального технического университета. Беларусь, БНТУ, 220013, г. Минск, пр. Независимости, 65.

Нерода Михаил Владимирович, зав. кафедрой технологии машиностроения Барановичского государственного университета. Беларусь, БарГУ, 225404, Брестская область, г. Барановичи, ул. Войкова 21.