

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПЛУГОВ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ НИТРОЦЕМЕНТАЦИЕЙ

*Константинов В.М., д.т.н., зав. кафедрой; Ткаченко Г.А., к.т.н.
УО «Белорусский национальный технический университет», г. Минск*

Почворезущие детали корпусов плугов относятся к быстроизнашивающимся сменным элементам. Они являются изделиями массового потребления. Технический уровень производства и ресурс элементов корпусов плугов, выпускаемых отечественными предприятиями, ниже, чем европейских производителей. Детали почвообрабатывающей техники отечественного производства имеют ресурс работы ниже западных аналогов в 1,5–2 раза и, как правило, не дотягивает до требований СТБ 1388–2003, где для долота оборотного ресурс должен составлять не менее 20 га. Выпускаемые детали имеют низкие значения на супесчаных и песчаных почвах и незначительно превышают показатели на торфяных, суглинистых и глинистых почвах. Небольшая наработка узла «долото–болт» объясняется тем, что происходит быстрый износ долота по длине и толщине. Во время работы на тяжелых почвах сильное влияние на ресурс детали оказывает износ головки болта, который обусловлен постепенным «вымыванием» почвой мягкого металла крепежного элемента в посадочном отверстии рабочего органа, что приводит к преждевременному нарушению целостности конструкции. В результате этого износа происходит отрыв долота от лемеха плуга.

В настоящее время для изготовления рабочих органов плугов используют конструкционную сталь 65Г. Для повышения износостойкости применяют термическую обработку, которая состоит из объемной закалки и среднего отпуска. При этом формируется структура троостита отпуска с твердостью в пределах 45...50 HRC. Крепежные элементы плуга изготавливают, используя сталь 20 и 40Х. Болты (сталь 20) получают холодной высадкой без дополнительной термической обработки, получая изделие со структурой феррита и перлита, которая обеспечивает твердость около 20 HRC и предел прочности 600 МПа. Болты из стали 40Х изготавливают горячей высадкой с последующей термической обработкой, которая состоит из закалки и высокого отпуска, после такой операции формируется микроструктура сорбита отпуска с твердостью 30 HRC и пределом прочности 1100 МПа. При работе в полевых условиях ресурс болтов, установленных на долото и лемех, составляет всего 5–15 га вспаханной земли из расчета на один корпус плуга.

Наиболее тяжело нагруженным, интенсивно изнашиваемым узлом корпуса плуга является «долото – болт», назначение которого заключается в подрезании пласта почвы, ее подъема и направления на отвал. В процессе эксплуатации узел корпуса плуга подвергается воздействию абразивной массы, также действию окружающей среды – коррозии, ударным нагрузкам.

Следовательно, в процессе упрочнения, учитывая условия эксплуатации данного узла корпуса плуга, необходимо повысить конструкционную прочность, т.е. комплекс прочностных свойств, которые обеспечат длительную и надежную работу материала в условиях эксплуатации. К таким свойствам можно отнести поверхностную твердость долота и болта, а также прочность и ударную вязкость. Для согласованной и продолжительной работы узла необходимо, чтобы сопрягаемые поверхности долота и крепежного элемента находились на одном уровне механических свойств, т.е. твердость головки болта была равной или больше твердости долота. Это требуется, чтобы исключить эффект «вымывания» из посадочного отверстия металла болта.

Крепежный элемент представляет собой стержень с внешней резьбой на одном конце и головкой на другом с однородной микроструктурой по сечению. Это обуславливает его механические характеристики, такие как класс прочности, который зависит от предела прочности на растяжение, чем больше значение, тем выше класс болта.

Наиболее тяжело нагруженной частью болта является его резьбовая часть в месте соединения с головкой, где возникают крутящий момент, образующийся во время навинчивания гайки, и растягивающие напряжения при взаимодействии детали с внешней средой, головка болта в свою очередь подвергается воздействию абразивных частиц.

Исходя из условий работы крепежного элемента и нагрузок, целесообразно сохранить исходную микроструктуру феррита и перлита, сорбита или троостита на ножке болта, а на головке получить износостойкую структуру, например мартенсита (рис. 1).

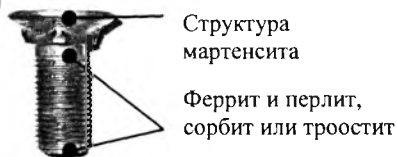


Рис. 1. Требуемое распределение структур по сечению упрочненного крепежного элемента

Сочетание исходной микроструктуры резьбовой части, износостойкой на головке, позволит сохранить класс прочности и улучшить трибологические свойства крепежных элементов, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания и при ударных нагрузках.

Оборотное долото представляет собой нож, который имеет рабочую часть в виде лезвий с двух сторон и центральную часть, в которой размещены крепежные отверстия (рис. 2). Эта деталь устанавливается на лемех так, что рабочая часть выступает вперед. Таким образом, долото представляет собой консоль с жестким закреплением, и все возникающие нагрузки воспринимаются именно крепежной частью долота, если нагрузка превышает предел прочности, то происходит излом в этой части, т.к. в ней расположены посадочные отверстия, которые являются концентраторами напряжений (рис. 3). Исходя из нагрузок и условий работы, на данной детали требуется получить следующие структуры: износостойкую, например мартенсит, на режущей части и на крепежной пластичную, типа троостита.

Для реализации схемы локального распределения микроструктур по сечению изделий необходимо использовать такую термическую обработку, чтобы нагрев оказывал влияние на структурные превращения лишь на определенных участках детали. К такому виду упрочнения можно отнести электрохимико-термическую обработку, локальную закалку, отпуск с индукционным нагревом, а благодаря тому, что способ нагрева позволяет регулировать скорость, можно добиться высокой производительности процесса упрочнения. В этом случае в качестве альтернативы традиционным способам объемной ХТО и ТО предложено использовать высокоскоростное диффузионное насыщение поверхности сталей из порошков, газовой или жидкой сред с использованием индукционного нагрева, проводить термическую обработку с циклическим нагревом.



Рис. 2. Зоны упрочнения обратного долота

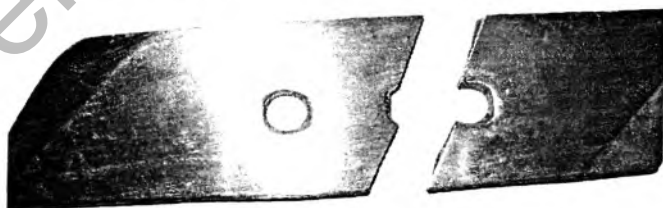


Рис. 3. Излом обратного долота по концентраторам напряжений

Для крепежных элементов была рассмотрена возможность использования высокотемпературной нитроцементации из паст. Такой способ позволил получить на образцах (сталь 20, сталь 40Х) диффузионные слои, толщиной от 0,06 до 0,9 мм. После нитроцементации при 1100 °С и последующей закалки формируется диффузионный слой, состоящий из игольчатого мартенсита и остаточного аустенита с микротвердостью 9000 МПа.

Увеличение температуры насыщения с 1100 °С до 1200–1300 °С приводит к образованию на поверхности образца жидкометаллической фазы, что позволяет получить на стали 40Х за 90 секунд слой толщиной 0,9 мм, состоящий из крупных зерен перлита, вокруг которых образуется ледебуритная эвтектика с высокой микротвердостью, порядка 12000 МПа. Такой же эффект от увеличения температуры насыщения наблюдается и на стали 20, где помимо нитроцементованного слоя образуется ледебурит толщиной 30–40 мкм [1].

В работе было изучено влияние циклического нагрева на формирование диффузионного слоя при высокотемпературном насыщении из паст. Исследования показали, что циклический нагрев, заключающийся в перегреве образцов крепежных элементов из стали 20 на 200 °С выше точки A_3 и охлаждении до температуры ниже точки A_1 на 100 °С, приводит к интенсификации диффузионных процессов, измельчению микроструктуры слоя и основного металла, а также позволяет увеличить микротвердость.

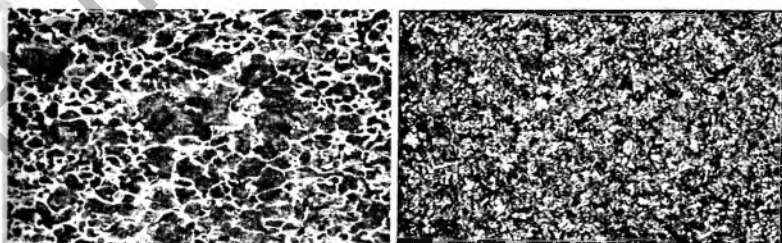
Интенсификация процесса насыщения и формирование мелкозернистой структуры при ТЦО обусловлены следующими физическими причинами. При многократной смене температуры происходит микродеформация зерен из-за структурных и термических напряжений, в результате чего происходит фазовый наклеп металла, который сопровождается рекристаллизацией [2]. Диффузия по движущимся границам зерен протекает быстрее, чем по неподвижным [3]. При деформации возрастает плотность дислокаций и вакансий в объеме зерен, и взаимодействие мигрирующих границ с дефектами приводит к увеличению свободного объема границ, что обуславливает сильное увеличение коэффициента зернограницной диффузии D_{gr} [4]. При высоких температурах, когда роль объемной диффузии существенна, движущиеся границы с высоким D_{gr} играют роль источников, из которых атомы углерода и азота диффундируют в объем зерен.

ЭТО совместно с циклическим нагревом привело к повышению микротвердости в диффузионном слое и сердцевине образцов. Повышение обусловлено тем, что при нитроцементации из паст с последующей закалкой в слое сохраняется большое количество остаточного аустенита. Но в процессе многократной фазовой перекристаллизации при ТЦО в высокоуглеродистом аустените протекают процессы перераспределения углерода и выделения цементита, что вызывает обеднение аустенита углеродом. В

результате аустенит становится менее устойчивым и превращается в перлит. При повторном нагреве выделившиеся частицы цемента практически не растворяются при максимальной температуре, т.к. скорость нагрева высока и времени для их растворения недостаточно, а образовавшийся из высокоуглеродистого аустенита перлит превращается в менее легированный углеродом аустенит. При повторном охлаждении до нижней температуры цикла доля остаточного аустенита уменьшается, и так далее с каждым циклом.

Подобное явление наблюдается при термоциклической обработке образцов из стали 65Г, которые были предварительно подвергнуты нитроцементации при температуре 850 °С в течение 7 часов. Режим циклической обработки с индукционным нагревом этой стали был выбран с полной фазовой перекристаллизацией и заключался в нагреве выше точки A_3 на 50–80 °С и охлаждением ниже A_1 на 50 °С. Выбранный диапазон температур позволил получить равномерный нагрев всего сечения образца за один цикл нагрева. При температуре выше точки Кюри возрастает глубина проникновения тока в металл от 6,5–0,7 мм [5] в зависимости от частоты генератора 8–400 кГц. Равномерности прогрева сечения образца дополнительно способствует интенсивный теплоотвод с поверхности в сердцевину, что приводит к формированию мелкозернистого аустенита по всему сечению образца. Немаловажным фактором в процессе упрочнения образцов по предложенной схеме является то, что в процессе ТЦО с полной фазовой перекристаллизацией не происходит изменения положений критических точек стали [1]. Это весьма важно для осуществления закалки с последнего цикла нагрева, т.к. позволяет исключить перегрев стали и отсутствие феррита в закаленной структуре.

Упрочнение оборотных долот заключалось в нитроцементации с последующей циклической термической обработкой. Исходная микроструктура образцов перед ТЦО представляла собой крупнозернистый перлит, окруженный ферритом диаметр зерна при этом находился в пределах 0,055–0,039 мм (рис. 4).



а) после ТЦО

б) после нормализации

Рис. 4. Микроструктура сердцевины образца стали 65Г

После циклического нагрева и термической обработки происходит значительное измельчение структуры закаленных образцов. Размер мартенситных игл за 4 цикла уменьшается с 18 до 8 мкм в сердцевине, а на поверхности – с 12 до 4 мкм, такое измельчение связано с увеличением числа циклов. Более мелкоигльчатый мартенсит в диффузионном слое формируется благодаря тому, что в структуре слоя присутствует цементит вторичный и цементит перлита.

Установлено [6], что термоциклическая обработка способствует измельчению и дроблению карбидных включений, а это ведет к увеличению числа зародышей аустенита при нагреве. Благодаря высокой скорости индукционного нагрева карбиды не успевают раствориться полностью, обеспечивая сохранение мелкого аустенитного зерна.

Сформированная мелкозернистая структура мартенсита отпуска позволила добиться улучшения механических свойств стали 65Г, в частности ударной вязкости, значение которой удалось повысить с 10 до 20 Дж/см² за 2 цикла нагрева и охлаждения. Излом образца имеет матовый серый цвет с вытянутыми волокнами, что характерно для вязкого излома.

Таким образом, благодаря циклическому нагреву при высокотемпературном диффузионном насыщении удалось добиться увеличения глубины диффузионного слоя на 17% относительно изотермического насыщения при равной продолжительности процесса. При ТЦО происходит значительное измельчение микроструктуры в диффузионном слое и в сердцевине образца. Термоциклирование после химико-термической обработки исправляет перегретую микроструктуру образцов в слое и в сердцевине металла, что способствует увеличению ударной вязкости, твердости.

По разработанным способам упрочнения была изготовлена опытная партия деталей, в которую входили крепежные элементы и оборотные долота. Задача испытаний заключалась в проверке эффективности повышения эксплуатационных характеристик готового изделия за счет применения мелкодисперсных структур, сформированных согласно разработанной схеме зонального упрочнения деталей корпусов плугов.

Испытания экспериментальной партии были проведены на Белорусской машиноиспытательной станции. Базой для определения эффективности упрочнения служили детали серийного производства РУП «Минский завод шестрен» и фирмы «Kverneland». Конструкция и геометрические размеры деталей были одинаковыми, отличия заключались в механических свойствах (табл. 1).

В ходе испытаний проводилась оценка показателей надежности упрочненных деталей на базе сельхозпредприятий Минского района на вспашке стерни и многолетних трав на торфяно-глеевых 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.

Таблица 1 – Характеристика деталей

Оборотное долото	Материал	Микроструктура лезвийной части	Твердость лезвийной части, HRC	Обработанная площадь одним долотом, Га
РУП «МЗШ»	65Г	Гроостит	45...50	17
Упрочненное РУП «МЗШ»	65Г	Легированный марганецит	62...64	25
Kverneland	40ГР	Марганецит	50...55	25

Интенсивность изнашивания оборотных долот и крепежных элементов определялась изменением линейных размеров за количество пройденных гектар. В ходе полевых испытаний наработка на одно долото составила от 17 до 25 га, а на болт 8–13 га. Анализ значений линейных размеров, являющихся выбраковочными признаками, показал, что износ упрочненных деталей происходит медленнее серийно выпускаемых в 1,4...1,8 раза согласно протоколу БелМИС № 18 Д8/1-2009 от 23 февраля 2009 г. Таким образом, результаты исследований и полевых испытаний позволили предложить технологии упрочнения деталей и внедрить на Минском заводе шестерен с экономическим эффектом от внедрения более 42 млн. руб. (Беларусь).

Выводы:

1. Разработан способ упрочнения крепежных элементов, локальной ЭХТО из порошков и закалка с индукционным нагревом, позволяющим получить износостойкие структуры на головке болта, а резьбовую часть оставить мягкой и пластичной, благодаря чему сохраняется класс прочности (заявка на изобретение «Болт» № а20091117 от 23.07.2009 г.).

2. Изучено влияние индукционного циклического нагрева в интервале температур 600...1100 °С на скорость формирования диффузионного слоя, при проведении процесса электрохимико-термического насыщения. Во время нестационарного процесса диффузии, за равный промежуток времени можно получить слой 340 мкм, что на 17% больше, чем в стационарном режиме. Если увеличивать интенсивность теплосмен и уменьшать время выдержки в аустенитной области, то происходит замедление формирования слоя. В этом случае кинетика приближалась к стационарному режиму, 25 мкм слоя за 1 цикл в течение 15 секунд выдержки.

3. Полевые испытания на Белорусской машиноиспытательной станции показали, что благодаря упрочнению деталей, выпускаемых Минским заводом шестерен, их износостойкость сравнивалась с западными образцами «Kverneland». Установлено, что износостойкость упрочненных деталей выше серийно выпускаемых деталей в 1,5- 1,8 раза, в зависимости от типа почвы.

1. Качаченко, Г.А., Константинов, В.М./Электрохимико-термическая обработка крепежных элементов почвообрабатывающих машин / *Металлургия: Респуб. межвед. сб. науч. тр. Вып. 31.* – Минск: БИГУ, 2008. – С. 358–371.
2. Метод термоциклической обработки металлических материалов / В.К. Федюкин. – Л.: Знание, 1979. – 24 с.
3. Диффузия по границам зерен и фаз / И. Каур, В. Густ. – М.: Машиностроение, 1991. – 448 с.
4. Неравновесные границы зерен в металлах. Теория и приложения / В.Н. Чувильдесв. – М.: Физматлит, 2004. – 304 с.
5. Физические основы электротермической обработки металлов и сплавов / И.Н. Клидин. – М.: Metallurgia, 1969 – 376 с.
6. Гурьев, А.М., Ворошин, Л.Г. Циклическое тепловое воздействие при термической и химико-термической обработке инструментальных сталей / *ФПСМ: АГТУ.* – Вып. № 3 – 2005. – С. 37–46.

УДК 620.22(07):631.3(075.8)

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СОЗДАНИИ СЕЛЬХОЗТЕХНИКИ

*Капцевич В.М., д.т.н., профессор; Толочко Н.К., д.ф.-м. н., профессор
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск*

Современная сельхозтехника характеризуется наличием разнообразных систем автоматического управления, повышающих эффективность ее функционирования. В последние годы все больше внимания уделяется созданию так называемой интеллектуальной сельхозтехники, способной обеспечивать автоматическое управление своей работой путем соответствующего реагирования на изменения условий эксплуатации и технического состояния. Её ведущими производителями являются фирмы John Deere (США), JCB (Великобритания), Bernard Krone Maschinenfabrik, Grimme Landmaschinenfabrik, Rauch Landmaschinenfabrik, Lemken, CNH Deutschland, CIAAS Vertriebsgesellschaft (Германия), Pöttinger (Австрия), ARAG (Италия) и др. Ниже приводится краткое описание некоторых образцов интеллектуальной сельхозтехники [1–4].

В тракторах применяется гидропневматическая подвеска колес, которая поддерживает установленную высоту кузова над землей независимо от нагрузки, а также равномерно распределяет нагрузку на колеса, что создает оптимальные условия для работы шин на всех колесах, обеспечивает плавный ход и улучшает сцепные качества колес с почвой.

В косилках применяется гидропневматическая система снижения нагрузки на косилку с автоматической регулировкой опорного давления, ко-