УДК 621.785.5

DOI: 10.35809/2618-8279-2019-4-11

СТРУКТУРИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЗОН РАБОЧИХ ОРГАНОВ ЧИЗЕЛЬНЫХ ОРУДИЙ

STRUCTURING OF FUNCTIONAL ZONES OF WORKING BODIES OF CHISEL TOOLS

Д.С. Гапич¹, доктор технических наук, доцент,
В.А. Моторин^{1,2}, кандидат технических наук, доцент,
Д.Б. Курбанов¹

D.S. Gapich¹, doctor of technical sciences, associate professor,
V. A. Motorin^{1,2}, candidate of technical sciences, associate professor,
D.B. Kurbanov¹

¹Волгоградский государственный аграрный университет,
²Всероссийский научно-исследовательский институт
орошаемого земледелия

¹Volgograd State Agrarian University,
²All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture

Рабочие органы машин для обработки грунтов должны обладать высокими показателями износостойкости и сопротивлением к ударным нагрузкам. Причем, различные участки рабочих органов имеют разное функциональное назначение, а, следовательно, должны обладать различными механическими характеристиками. В результате проведенного анализа применяемых литейных технологий изготовления рабочих органов установлено, что для изготовления рабочих органов, испытывающих интенсивные абразивные воздействия, в качестве основного материала широко используется высокопрочный чугун. Металлографический анализ экспериментальных образцов показал, что вследствие сложной геометрической формы рабочих органов в процессе кристаллизации детали формируется неоднородная структура, что существенно ограничивает его технический ресурс: возникает интенсивный абразивный износ и сколы режущей кромки. Исходя из этого предлагается модель рационального структурирования функциональных зон рабочих органов для обработки грунтов, обеспечивающая кардинально отличающиеся по зонам детали механические характеристики. Максимальные абразивные нагрузки испытывает носовая часть рабочих органов, поэтому ее твердость должна быть не менее 400-450 НВ. Вид обработки будет влиять и на необходимую глубину получения рабочей зоны, которая может колебаться от 70 до 100 мм. Твердость переходной зоны должна составлять 220-260 НВ, что обеспечит необходимую ударостойкость рабочего органа. Твердость детали в зоне крепления рабочего органа не должна превышать 140 НВ. В технологию изготовления детали внедряется термообработка, которая включает графитизирующий отжиг структурно свободного эвтектического цементита, нормализацию для устранения феррита и получения перлитной структуры, закалку рабочей зоны с высоким отпускком, локальный отжиг зоны крепления на ферритно-перлитную структуру металлической основы. Предложена модель рационального структурирования функциональных зон рабочих органов чизельных орудий.

The working parts of soil treatment machines must have high wear resistance and resistance to shock loads. Moreover, different parts of the working bodies have different functional purposes, and, therefore, must have different mechanical characteristics. As a result of the analysis of the casting technologies used for manufacturing working bodies, it was found that high-strength cast iron is widely used as the main material for manufacturing working bodies that experience intense abrasive effects. Metallographic analysis of experimental samples showed that due to the complex geometric shape of the working bodies, a non-uniform structure is formed during the crystallization of the part, which significantly limits its technical resource: there is intense abrasive wear and chipping of the cutting edge. Based on this, we propose a model of rational structuring of functional zones of working bodies for soil treatment, which provides radically different parts of mechanical characteristics. The maximum abrasive loads are experienced by the nose of the working bodies, so its hardness must be at least 400-450 HV. The type of processing will also affect the required depth of the working zone, which can range from 70 to 100 mm. The hardness of the transition zone should be 220-260 HV, which will provide the necessary impact resistance of the working body. The hardness of the part in the mounting area of the working body should not exceed 140 HV. Heat treatment is introduced into the manufacturing technology of the part, which includes graphitizing annealing of structurally free eutectic cementite, normalization to eliminate ferrite and obtain a perlite structure, quenching of the working zone with high tempering, local annealing of the zone of attachment to the ferrite-perlite structure of the metal base. A model of rational structuring of functional zones of working bodies of chisel tools is proposed.

Ключевые слова: рабочие органы машин для обработки грунтов, высокопрочный чугун, термическая обработка чугуна, функциональные зоны рабочих органов

Key words: working bodies of machines for soil treatment, high-strength cast iron, heat treatment of cast iron, functional zones of working bodies

Введение. Основными деталями, определяющими технический ресурс всего почвообрабатывающего агрегата, являются их рабочие органы. В зависимости от вида обработки грунта они могут быть в различном исполнении, начиная от зубьев ковша экскаватора и заканчивая рабочими органами почвообрабатывающих сельскохозяйственных агрегатов, имеющих в зависимости от функционального назначения достаточно сложную геометрическую форму. Обобщающей особенностью таких рабочих органов являются условия работы: переменные изгибающие нагрузки как по величине, так и по направлению; ударные нагрузки; работа в условиях абразивного износа.

В конструкциях любых рабочих органов почвообрабатывающих орудий можно выделить наличие трех функциональных зон: 1 – рабочая зона носовой части, ее основная задача заключается в разрушении грунта и внедрении тела рабочего органа в его слой; 2 – переходная зона, представляет собой часть рабочего органа, предназначенного для выполнения технологического процес-

са обработки грунта, как правило, ее геометрическая форма определяет качественные и энергетические показатели процесса; 3 – зона крепления рабочего органа к управляемому звену. Схематичное распределение функциональных зон на примере долота чизельного плуга показано на рисунке 1.

В зависимости от функционального назначения зоны рабочих органов воспринимают разные внешние нагрузки: зона 1 воспринимает фронтальные ударные нагрузки, обусловленные процессом разрушения грунта, и активно подвергается процессу абразивного изнашивания; зона 2 нагружена динамическими изгибающими моментами; зона 3 представляет собой жесткую заделку, находящуюся под действием реакций связи.

Целью научно-исследовательской работы являлось получение оптимальных структур и твердости в рабочем органе в разных функциональных зонах за счет термической обработки.

Работу выполняли в рамках гранта Президента Российской Федерации МК-2870.2019.8

Материалы и методы. Исследование проводили на отливках чугуна с шаровидным графитом марки ВЧ50, отлитых в сухую песчано-глинистую форму.

Микроструктура отливок представляла собой перлитно-ферритную металлическую основу с включениями шаровидного графита. Феррит в структуре чугуна располагался вокруг графитовых включений, его количество не превышало 30%.

Отбеленный слой на поверхности образцов чугуна ВЧ50 получали лазерной термообработкой с оплавлением и закалкой ТВЧ тоже с оплавлением поверхности.

Микроструктуру экспериментальных образцов исследовали с помощью металлографического микроскопа «Neophot-21» на микрошлифах, травленных 4%-ным нителем.

Результаты и обсуждение. Анализ существующих литейных технологий изготовления рабочих органов [1, 2, 11, 10, 7, 4] показал, что для разработки тяжелых грунто в качестве основного материала широко используется высокопрочный чугун.

Рисунок 1 – Распределение структурных зон долота плуга из высокопрочного чугуна в соответствии с их функциональным назначением:

1 – отбеленная зона, ледебурит; 2 – переходная зона, ледебурит, шаровидный графит, перлит; 3 – графитизированная зона, перлит, шаровидный графит

В результате металлографического анализа экспериментальных образцов было выявлено, что вследствие сложной геометрической формы рабочих органов в процессе кристаллизации детали формируется неоднородная структура: феррито-перлитная в переходной зоне, перлитная с наличием цементита в зоне крепления и рабочей зоне. Такое структурирование зон рабочего органа существенно ограничивает его технический ресурс: возникает интенсивный абразивный износ и сколы режущей кромки.

Более детальный анализ нагрузок, действующих на соответствующие функциональные зоны рабочих органов [3, 5, 6, 8, 9, 12], позволил предложить концепцию их рационального структурирования, обеспечивающую повышение технического ресурса.

Как показали исследования, зона носовой части, активно подвергающаяся абразивному износу, должна иметь твердость не менее 400-450 HB для высокой износостойкости и в зависимости от вида обработки грунта может колебаться от 70 до 100 мм. Переходная зона должна обладать твердостью в пределах 220-260 HB, такая твердость обеспечивает необходимую ударостойкость рабочего органа. В зоне крепления рабочего органа твердость детали не должна превышать 140 HB для получения обработки крепежных отверстий.

На рисунке 2 показано распределение твердости по функциональным зонам долота чизельного плуга, изготовленного по разработанной технологии прерывисто-циклической закалки (патент РФ № 2681076).

Такие значения твердости функциональных зон должны быть обеспечены

Рисунок 2 – Схема распределения твердости по зонам рабочего органа

соответствующим структурированием: в рабочей зоне должен быть бейнит или отпущенный мартенсит, в переходной зоне ферритная или феррито-перлитная структура, в зоне крепления перлитная структура (рисунок 3).

В условиях массового производства рабочих органов получение рационального структурирования существенно повышает цену конечного продукта, так как в технологию изготовления детали внедряется дополнительная многооперационная термообработка, включающая:

графитизирующий отжиг структурно свободного эвтектического цементита; нормализацию для устранения феррита и получения перлитной структуры; закалку рабочей зоны с высоким отпуском; локальный отжиг зоны крепления на ферритно-перлитную структуру металлической основы.

Предлагаемая технология заключается в получении рабочих органов с различной твердостью по функциональным зонам за счет термической обработки с одного объемного нагрева изделий.

Заключение. Разработана модель рационального структурирования функциональных зон рабочих органов чизельных орудий.

Экспериментально подтверждена возможность формирования заданных структуры и свойств по функциональным зонам рабочих органов, выполненных из высокопрочного чугуна, с одного объемного нагрева заготовок.

а

б

в

Рисунок 3 – Микроструктура металлической основы долота чизеля, изготовленного по технологии циклической закалки:

а – бейнит в рабочей зоне, б – перлит в переходной зоне, в – феррит и перлит в зоне крепления

Библиографический список

1. Гапич, Д.С. Результаты испытаний чизельных рабочих органов из высокоуглеродистых сплавов / Д.С. Гапич, В.А. Моторин, Е.В. Ширяева, Г.А. Любимова, Д.Б. Курбанов // Сельский механизатор. – 2019. – №7. – С. 36-37.
2. Грибенченко, А.В. Улучшение качества сварного соединения за счет переноса углерода из околосварной зоны / А.В. Грибенченко, В.А. Моторин, Г.А. Любимова, Д.П. Скворцов // Научная жизнь. – 2017. – №12. – С. 6-12.
3. Костылева, Л.В. Комплексное влияние химического состава чугуна на структуру отбеленного слоя долота чизельного плуга / Л.В. Костылева, Д.С. Гапич, В.А. Моторин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2016. – №2. – С. 221-228.
4. Костылева, Л.В. Микроструктура и абразивная износостойкость тяжело нагруженных деталей чизельных плугов из высокопрочного чугуна / Л.В. Костылева, Д.С. Гапич, В.А. Моторин, А.Е. Новиков // Черные металлы. – 2019. – №3 (1047). – С. 37-42.
5. Костылева, Л.В. Изменение состава и свойств цементита при термической обработке рабочих органов почвообрабатывающих машин из отбеленного чугуна / Л.В. Костылева, Д.С. Гапич, А.Е. Новиков, В.А. Моторин // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2019. – №4. – С. 3-9.
6. Костылева, Л.В. Улучшение структуры и свойств литых деталей из среднеуглеродистой стали термоциклической обработкой / Л.В. Костылева, А.Е. Новиков, Д.С. Гапич, В.А. Моторин, Е.Ю. Карпова // Металловедение. – 2019. – №4. – С. 23-28.
7. Макаренко, К.В. О получении из литого состояния полновинчатых чугунов с аусферритной структурой / К.В. Макаренко // Литейное производство. – 2010. – №2. – С. 2-6.
8. Моторин, В.А. Формирование износостойких зонально-распределенных структур деталей орудий для почвообработки из высокопрочного чугуна / В.А. Моторин, Д.С. Гапич, Л.В. Костылева, А.Е. Новиков // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2018. – №4. – С. 269-276.
9. Моторин, В.А. Структурирование рабочих органов из высокопрочного чугуна / В.А. Моторин, Д.Б. Курбанов // 21 век: фундаментальная наука и технологии: матер. XVII международной научно-практической конф., North Charleston, USA, 1-2 октября 2018 г. / ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ [и др.]. – North Charleston, 2018. – Том 2. – С. 98-100.
10. Моторин, В.А. Повышение надежности рабочих органов почвообрабатывающих орудий, выполненных из чугуна / В.А. Моторин, Л.В. Костылева, Д.С. Гапич // Мировые научно-технологические тенденции социально-экономического развития АПК и сельских территорий: матер. международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию окончания Сталинградской битвы, Волгоград, 31 января-2 февраля 2018 г. / ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ [и др.]. – Волгоград, 2018. – Том 2. – С. 252-257.
11. Novikov, A.E. Composition and Tribological Properties of Hardened Cutting Blades of Tillage Machines under Abrasive Deterioration / A.E. Novikov, V.A. Motorin, M.I. Lamskova, M.I. Filimonov // Journal of Friction and Wear. – 2018. – Vol. 39, No.2. – P. 158-163.
12. Panneerselvam, S., Martis, C.J., Putatunda, S.K., Boileau, J.M., 2015. An investigation on the stability of austenite in Austempered Ductile Cast Iron (ADI) (Article) Materials Science and Engineering A Volume 626, February 05, 2015. – P. 237-246.

Дополнительные сведения об авторах:

Дмитрий Сергеевич Гапич, заведующий кафедрой эксплуатации и технического сервиса машин в АПК¹,

Вадим Андреевич Моторин, доцент кафедры эксплуатации и технического сервиса машин в АПК¹, старший научный сотрудник отдела оросительных мелиораций², vmotorin001@yandex.ru,

Дмитрий Байрамович Курбанов, аспирант¹

Bibliographic list

1. Gapich, D.S. Results of tests of chisel working bodies from high-carbon alloys / D.S. Gapich, V.A. Motorin, E.V. Shiryayeva, G.A. Lyubimova, D.B. Kurbanov // Rural mechanizer. – 2019. – No.7. – P. 36-37.
2. Gribenchenko, A.V. Improving the quality of welded joints due to the transfer of carbon from the near-wash zone / A.V. Gribenchenko, V.A. Motorin, G.A. Lyubimova, D.P. Skvortsov // Scientific life. – 2017. – No.12. – С. 6-12.
3. Kostyleva, L.V. Complex influence of chemical composition of cast iron on the structure of the chilled layer chisels chisel plow / L.V. Kostyleva, D.S. Gapich, V.A. Motorin // proceedings of lower Volga agrodiversity complex: Science and higher professional education. – 2016. – No.2. – P. 221-228.
4. Kostyleva, L.V. Microstructure and abrasive wear resistance of heavily loaded parts of chisel plows made of high-strength cast iron / L.V. Kostyleva, D.S. Gapich, V.A. Motorin, A.E. Novikov // Ferrous metals. – 2019. – No.3 (1047). – P. 37-42.
5. Kostyleva, L.V. Change in the composition and properties of cementite during heat treatment of working bodies of soil-processing machines from bleached cast iron / L.V. Kostyleva, D.S. Gapich, A.E. Novikov, V.A. Motorin // Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov. – 2019. – №4. – P. 3-9.
6. Kostyleva, L.V. Improvement of structure and properties of cast parts from medium-carbon steel by thermocyclic treatment / L.V. Kostyleva, A.E. Novikov, D.S. Gapich, V.A. Motorin, E.Yu. Karpova // materials Science. – 2019. – No.4. – P. 23-28.
7. Makarenko, K.V. on obtaining half-cast iron with ferrite structure from the cast state / K.V. Makarenko // Foundry production. – 2010. – No.2. – P. 2-6.
8. Motorin, V.A. Formation of wear-resistant zonal-distributed structures of details of tools for soil treatment from high-strength cast iron / V.A. Motorin, D.S. Gapich, L.V. Kostyleva, A.E. Novikov // Izvestiya nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vyshe vocational education. – 2018. – No.4. – С. 269-276.
9. Motorin, V.A. Structuring working bodies of high-strength cast iron / V.A. Motorin, D.B. Kurbanov // 21st century: fundamental science and technology: proceedings of the XVII international scientific and practical conference, North Charleston, USA, 1-2 October 2018 / Volgograd State Agrarian University [et al.]. – North Charleston, 2018. – Volume 2. – P. 98-100.
10. Motorin, V.A. Improving the reliability of working bodies of tillage tools made of cast iron / V.A. Motorin, L.V. Kostyleva, D.S. Gapich // World scientific and technological trends in the socio-economic development of agriculture and rural areas: materials of the International scientific and practical conference dedicated to the 75th anniversary of the end of the battle of Stalingrad, Volgograd, January 31-February 2, 2018 / Volgograd State Agrarian University [et al.]. – Volgograd, 2018. – Volume 2. – P. 252-257.
11. Novikov, A.E. Composition and Tribological Properties of Hardened Cutting Blades of Tillage Machines under Abrasive Deterioration / A.E. Novikov, V.A. Motorin, M.I. Lamskova, M.I. Filimonov // Journal of Friction and Wear. – 2018. – Vol. 39, No.2. – P. 158-163.
12. Panneerselvam, S., Martis, C.J., Putatunda, S.K., Boileau, J.M., 2015. An investigation on the stability of austenite in Austempered Ductile Cast Iron (ADI) (Article) Materials Science and Engineering A Volume 626, February 05, 2015. – P. 237-246.

Additional information about the authors:

Dmitry Sergeevich Gapich, head of the department operation and technical service of machines in agriculture¹,

Vadim Andreevich Motorin, associate professor of the department operation and technical service of machines in agriculture¹, senior researcher of the irrigation land reclamation department², vmotorin001@yandex.ru,

Dmitry Bayramovich Kurbanov, post-graduate student¹