

МРНТИ 68.85.81

УДК 631.372.8:621.785.5

<https://doi.org/10.52269/SRDG2611193>

ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЛОКАЛИЗОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН

Салықов Б.Р. – кандидат технических наук, ассоциированный профессор (доцент) кафедры аграрной техники и транспорта, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Қуанышбаев С.Б. – доктор географических наук, Председатель Правления-Ректор, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Ермолдина Г.Т. – научный консультант НИИ прикладной биотехнологии, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Манұйлов Н.В.* – инженер кафедры программного обеспечения, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

В статье представлено материаловедческое обоснование выбора оптимальных марок стали для локализованного производства рабочих органов почвообрабатывающих машин в Республике Казахстан. Исследование направлено на снижение зависимости сельскохозяйственного машиностроения от импортных поставок и повышение эксплуатационного ресурса деталей, работающих в условиях интенсивного абразивно-ударного износа. Проведён комплексный сравнительный анализ сталей 30MnB5 и 65Г, включающий оценку их химического состава, микроструктурных особенностей, профиля микротвердости и поведения в условиях реальной полевой эксплуатации. Установлено, что борсодержащая сталь 30MnB5 формирует более однородную мелко пластинчатую мартенситную структуру и характеризуется большей глубиной упрочнённого слоя, что обеспечивает равномерный характер износа и устойчивость режущей кромки при обработке абразивных почв. Сталь 65Г, несмотря на высокую поверхностную твердость, демонстрирует склонность к скалыванию вследствие резкого снижения твердости в подповерхностных слоях. Экономическая оценка с применением метода полной стоимости владения (ТСО) показала, что использование стали 30MnB5, позволяет снизить эксплуатационные затраты на 18–22% и увеличить межремонтный ресурс на 35–45%. Полученные результаты могут быть использованы при разработке технологических маршрутов и формировании производственных линий в условиях локализации сельскохозяйственного машиностроения Казахстана.

Ключевые слова: локализация производства, сталь 30MnB5, сталь 65Г, микроструктура, износостойкость, микротвердость, ресурс эксплуатации.

ТОПЫРАҚ ӨНДЕЙТІН МАШИНАЛАРДЫҢ ЖҰМЫС ОРГАНДАРЫН ЛОКАЛИЗАЦИЯЛАНҒАН ӨНДІРІС ҮШІН МАТЕРИАЛДАРДЫ ТАҢДАУ

Салықов Б.Р. – техника ғылымдарының кандидаты, Аграрлық техника және көлік кафедрасының қауымдастырылған профессоры (доценті), «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Қуанышбаев С.Б. – география ғылымдарының докторы, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ Басқарма төрағасы – Ректоры, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Ермолдина Г.Т. – қолданбалы биотехнология ғылыми-зерттеу институтының ғылыми кеңесшісі, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Манұйлов Н.В.* – бағдарламалық қамтамасыз ету кафедрасының инженері, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Мақалада Қазақстан Республикасында топырақ өңдеу машиналарының жұмыс органдарын жергілікті өндіріс жағдайында дайындау үшін оңтайлы болат маркаларын таңдаудың материалтанулық негіздемесі ұсынылған. Зерттеу ауыл шаруашылығы машина жасау саласының импорттық жеткізілімдерге тәуелділігін төмендетуге және қарқынды абразивті-соққылы тозу жағдайында жұмыс істейтін бөлшектердің пайдалану ресурсын арттыруға бағытталған. 30MnB5 және 65Г болаттарына кешенді салыстырмалы талдау жүргізілді, оған олардың химиялық құрамы, микроструктуралық ерекшеліктері, микротвердостық профилі және нақты далалық пайдалану жағдайларындағы мінез-құлқы бағаланды. Бор қосылған 30MnB5 болаты неғұрлым біртекті ұсақ-пластиналы мартенситтік құрылым түзетіні және шыныққан қабаттың тереңдігімен ерекшеленетіні анықталды, бұл абразивті топырақтарды өңдеу кезінде тозудың біркелкі сипатын және кесу жиегі-

нің тұрақтылығын қамтамасыз етеді. 65Г болаты беткі қаттылығының жоғары болуына қарамастан, бетасты қабаттарындағы қаттылықтың күрт төмендеуіне байланысты қақырауға (сынықтануға) бейімділік көрсетеді. Толық иелену құны (TCO) әдісін қолдана отырып жүргізілген экономикалық бағалау 30MnB5 болатын пайдалану эксплуатациялық шығындарды 18–22% төмендетуге және жөндеуаралық ресурсты 35–45% арттыруға мүмкіндік беретінін көрсетті. Алынған нәтижелер Қазақстанда ауыл шаруашылығы машина жасауды локализациялау жағдайында технологиялық маршруттарды әзірлеу және өндірістік желілерді қалыптастыру кезінде қолданылуы мүмкін.

Түйінді сөздер: өндірісті локализациялау; 30MnB5 болаты; 65Г болаты; микроструктура; тозуға төзімділік; микротвердость; пайдалану ресурсы.

SELECTION OF MATERIALS FOR LOCALIZED PRODUCTION OF TILLAGE MACHINE WORKING ELEMENTS

Salykov B.R. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of agricultural machinery and transport, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Kuanyshbayev S.B. – Doctor of Geographical Sciences, Chairperson of the Board-President, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Yermoldina G.T. – Scientific Adviser, Research Institute of Applied Biotechnology, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Manuilov N.V. – Engineer of the Department of software, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.*

The article presents a materials-science justification for selecting optimal steel grades for the localized production of working elements of tillage machinery in the Republic of Kazakhstan. The study is aimed at reducing the dependence of agricultural machinery manufacturing on imported supplies and at increasing the service life of components operating under conditions of intensive abrasive–impact wear. A comprehensive comparative analysis of steels 30MnB5 and 65G was carried out, including an evaluation of their chemical composition, microstructural characteristics, microhardness profiles, and performance under real-life field operating conditions. It was established that the boron-alloyed steel 30MnB5 forms a more homogeneous fine-lath martensitic structure and is characterized by a greater depth of the hardened layer, which ensures uniform wear behavior and improved cutting-edge stability when processing abrasive soils. Steel 65G, despite its high surface hardness, demonstrates a tendency to chipping due to a sharp decrease in hardness in the subsurface layers. An economic assessment using the total cost of ownership (TCO) method showed that the use of 30MnB5 steel reduces operating costs by 18–22% and increases the maintenance-free service life by 35–45%. The obtained results can be applied in the development of technological routes and the formation of production lines under conditions of localization of agricultural machinery manufacturing in Kazakhstan.

Key words: production localization, 30MnB5 steel, 65G steel, microstructure, wear resistance, microhardness, service life.

Введение

Развитие агропромышленного комплекса Республики Казахстан сопровождается необходимостью снижения зависимости от импортных поставок и укрепления производственно-технологического суверенитета [1, с. 23]. В рамках государственной политики импортозамещения приоритетным направлением является создание устойчивого производства элементов сельскохозяйственной техники, обладающих высоким ресурсом и эксплуатационной надежностью [1, с. 19].

Почвообрабатывающие рабочие органы относятся к группе узлов, испытывающих интенсивные абразивно-ударные воздействия со стороны минеральных частиц почвы, что обуславливает высокие темпы износа и существенные затраты сельхозтоваропроизводителей на их обновление [2, с. 15]. Продление ресурса данных элементов напрямую влияет на производительность машинно-тракторных агрегатов и экономическую эффективность технологических операций в растениеводстве [3, с. 27].

Выбор марки стали и режимов термообработки является ключевым фактором обеспечения требуемого сочетания твердости, ударной вязкости и сопротивления абразивному износу [4, с. 145]. Наиболее распространенными материалами для изготовления рабочих органов являются стали 30MnB5 и 65Г, однако сведения об их сравнительной эффективности в условиях почв северных регионов Казахстана остаются ограниченными и фрагментарными [5, с. 210; 6, с. 88].

Таким образом, научная обоснованность выбора материала для локализованного производства рабочих органов имеет не только материаловедческое, но и стратегическое значение, определяя уровень технологической независимости и устойчивости сельскохозяйственного машиностроения Республики Казахстан [1, с. 9; 7, с. 47].

Цель исследования заключается в материаловедческом обосновании выбора оптимальной марки стали для локализованного производства почвообрабатывающих рабочих органов в условиях

Республики Казахстан на основе анализа микроструктуры, профиля микротвердости, параметров износоустойчивости и эксплуатационного ресурса.

Для достижения цели были поставлены следующие **задачи**:

- провести сравнительный анализ химического состава и металлографической структуры сталей 30 MnB5 и 65Г после закалки и отпуска;
- определить распределение микротвердости по глубине закаленного слоя и оценить его влияние на устойчивость материалов к абразивному износу;
- осуществить экспериментально-аналитическую оценку износа рабочих органов, изготовленных из исследуемых сталей, в условиях полевой эксплуатации;
- выполнить технико-экономическое обоснование применения стали 30 MnB5 на основе расчета полной стоимости владения (ТСО);
- разработать рекомендации по выбору стали и режимов термообработки для серийного производства рабочих органов на предприятиях сельскохозяйственного машиностроения Республики Казахстан.

Почвообрабатывающие рабочие органы относятся к группе деталей, функционирующих в условиях интенсивного абразивно-ударного износа, вызываемого взаимодействием с минеральными частицами почвы [2, с. 15]. По оценкам международных агротехнических исследований, износ рабочих органов является одной из ключевых причин снижения эффективности машинно-тракторного парка и роста эксплуатационных затрат [3, с. 27]. В Республике Казахстан значительная часть лемехов, стоек и лап культиваторов продолжает импортироваться, что формирует зависимость от внешних поставок и повышает стоимость технического обслуживания [5, с. 210; 7, с. 47]. В работах отечественных исследователей подчеркивается необходимость локализации производства и выбора материалов, обеспечивающих оптимальное сочетание твердости, вязкости и технологичности для условий тяжелых почв [5, с. 133; 8, с. 230].

В мировой практике для изготовления рабочих органов применяются высокоуглеродистые пружинные стали (65Г, 60С2А) и борсодержащие конструкционные стали (30MnB5, 28MnCrB5) [4, с. 145; 9, с. 280]. Легирование бором увеличивает прокаливаемость и способствует формированию мелкопластинчатой мартенситной структуры при закалке, что приводит к большей глубине упрочненного слоя и повышенной стойкости к абразивному износу [10, с. 150]. В то же время высокоуглеродистые стали, такие как 65Г, обладают высокой поверхностной твердостью, но склонны к хрупкому разрушению и скалыванию кромок при динамических нагрузках вследствие резкого снижения твердости в подповерхностных слоях [11, с. 105].

Ряд исследователей подчеркивает, что решающим фактором ресурса рабочих органов является не только величина поверхностной твердости, но и глубина и равномерность упрочненного слоя, определяемые режимами термообработки [4, с. 198; 9, с. 283]. Для почв северных регионов Казахстана, характеризующихся повышенной абразивностью и переменными ударными нагрузками, критически значимо сохранение твердости по мере износа режущей кромки [5, с. 472; 8, с. 234].

Несмотря на наличие исследований, посвященных отдельным аспектам структуры и износоустойчивости сталей, комплексная сравнительная оценка сталей 30MnB5 и 65Г, включающая микроструктурный анализ, профиль микротвердости, результаты полевой эксплуатации и экономическую эффективность, в доступной научной литературе отсутствует [6, с. 88]. Это определяет необходимость проведения системного материаловедческого исследования.

Материалы и методы исследования

В исследовании использовались стали 30MnB5 и 65Г, применяемые при изготовлении рабочих органов почвообрабатывающих машин [6, с. 88]. Химический состав образцов соответствовал требованиям ГОСТ 4543–2016 и ГОСТ 14959–2018, поэтому основное внимание было направлено на анализ микроструктуры и эксплуатационных свойств после термообработки. Металлографическая подготовка включала последовательное шлифование, полирование и травление реактивом Nital (2–4%) для выявления морфологии мартенситной структуры [4, с. 145]. Термообработка обеих сталей проводилась по одинаковой схеме: нагрев до 860–880°C, закалка в масле и последующий отпуск при 220–250°C. Аналогичные режимы аустенизации и отпуска для борсодержащих сталей, а также их влияние на микроструктуру и сопротивление абразивному износу, описаны в ряде современных работ зарубежных авторов [16, с. 433; 17, с. 817]. Полевые испытания рабочих органов проводились в хозяйствах северных регионов Республики Казахстан на участках с черноземными и супесчаными почвами. Испытания выполнялись при рабочей скорости агрегата 8–10 км/ч, глубине обработки 20–22 см и влажности почвы 12–18%. Для каждой марки стали использовали не менее трёх комплектов рабочих органов, испытания проводились на сопоставимых участках при одинаковых режимах работы. Износ оценивали по потере массы рабочих органов и изменению геометрии режущей кромки после обработки 100–450 га. Результаты подвергались статистической обработке с расчётом средних значений и стандартных отклонений. Достоверность различий оценивали с использованием t-критерия Стьюдента при уровне значимости $p < 0,05$. В результате сталь 30MnB5 формировала мелкопластинчатый мартенсит с увеличенной глубиной упрочненного слоя за счет легирования бором, что обеспечивало повышенную устойчивость режущей кромки к абразивному износу [10, с. 150]. Сталь 65Г формировала крупнопластинчатый мартенсит с высокой поверхностной твердостью, но низкой ударной вязкостью, что приводило к скалыванию и разрушению режущей кромки при эксплуатационных нагрузках [11, с. 105; 8, с. 230].

Микротвердость измеряли методом Vickers HV0.1 на расстояниях 0,1, 0,5 и 1,5 мм от поверхности. Результаты изменения микротвердости по глубине показали существенные различия между исследуемыми сталями, что приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Изменение микротвердости по глубине упрочненного слоя

Глубина, мм	30MnB5 (HV0.1)	65Г (HV0.1)
0.1	540–570	610–650
0.5	480–510	460–500
1.5	380–430	290–330

Плавное снижение твердости стали 30MnB5 по мере увеличения глубины указывает на значительную толщину упрочненного слоя, позволяющую сохранять прочность режущей кромки при износе. Для стали 65Г характерно резкое падение твердости, что обуславливает склонность к скалыванию и ускоренному разрушению в процессе эксплуатации [10, с. 150; 11, с. 105].

Эксплуатационные испытания проводились в условиях обработки черноземных и супесчаных почв сельскохозяйственных предприятий северных регионов Казахстана [8, с. 230]. Оценка износа осуществлялась по величине потери массы и изменению геометрии режущей кромки после обработки 100–450 га. Одновременно контролировался профиль микротвердости в зоне износа, что позволило установить связь между глубиной упрочненного слоя и характером разрушения режущей кромки в реальных условиях эксплуатации [10, с. 145; 8, с. 234].

Экономическая целесообразность применения исследуемых сталей оценивалась на основе метода полной стоимости владения (ТСО), включающего стоимость комплекта рабочих органов, ресурс до достижения критического износа и удельные затраты на обработку 1 га [7, с. 47]. Такой подход позволяет увязать микроструктурные свойства материалов с эксплуатационными и экономическими показателями их применения в условиях локализованного производства сельскохозяйственной техники Республики Казахстан [7, с. 45; 12, с. 60; 13, с. 43; 14, с. 196].

Результаты исследования

Анализ распределения микротвердости по глубине упрочненного слоя показал существенные различия в характере упрочнения исследуемых сталей. Для стали 65Г зафиксирована более высокая поверхностная твердость (порядка 610–650 HV0.1 на глубине 0,1 мм), однако по мере удаления от поверхности наблюдается ее резкое снижение до 290–330 HV0.1 на глубине 1,5 мм. В случае стали 30MnB5 снижение твердости происходит плавно: от 540–570 HV0.1 на поверхности до 380–430 HV0.1 на глубине 1,5 мм. Более равномерный характер изменения твердости связан с повышенной прокаливаемостью борсодержащей стали и формированием мелкопластинчатого мартенсита, что также подтверждается результатами зарубежных экспериментальных исследований по стали 30MnB5 и аналогичным борсодержащим сталям [4, с. 145; 15, с. 370; 17, с. 819; 18, с. 589]. Напротив, крупнопластинчатый мартенсит в стали 65Г характеризуется низкой ударной вязкостью и склонностью к хрупким разрушениям при абразивно-ударных нагрузках [10, с. 150].

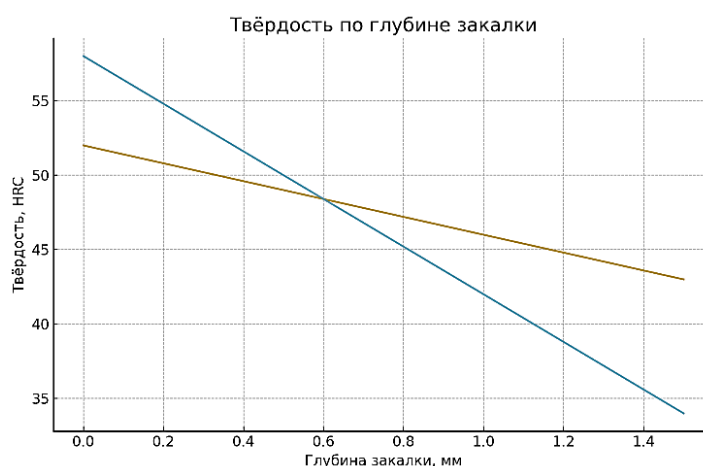


Рисунок 1 – Изменение твердости сталей 30MnB5 и 65Г по глубине закаленного слоя

Из рисунка 1 видно, что кривая микротвердости стали 65Г, характеризуется более резким градиентом снижения твердости по глубине по сравнению со сталью 30MnB5. Для борсодержащей стали 30MnB5 характерно более плавное изменение твердости, что свидетельствует о большей глубине упрочненного слоя. Данный фактор обеспечивает более устойчивое сохранение рабочих свойств режущей кромки по мере износа в процессе эксплуатации.

Результаты полевых испытаний рабочих органов, примененных при обработке черноземных и супесчаных почв северных регионов Казахстана, подтвердили более высокую эксплуатационную стойкость стали 30MnB5 [8, с. 230]. Износ рабочих органов из 30MnB5 происходил равномерно, без выкрашивания режущей кромки, даже при значительных обработанных площадях (свыше 400 га). Для рабочих органов из стали 65Г после обработки 200–250 га отмечено ускоренное развитие износа, сопровождающееся сколами режущей кромки и потерей геометрии профиля. Данная разница обусловлена малой глубиной эффективно упрочненного слоя в стали 65Г и быстрым снижением твердости в зоне под поверхностью, что ускоряет разрушение при эксплуатационных нагрузках [6, с. 88; 11, с. 105].

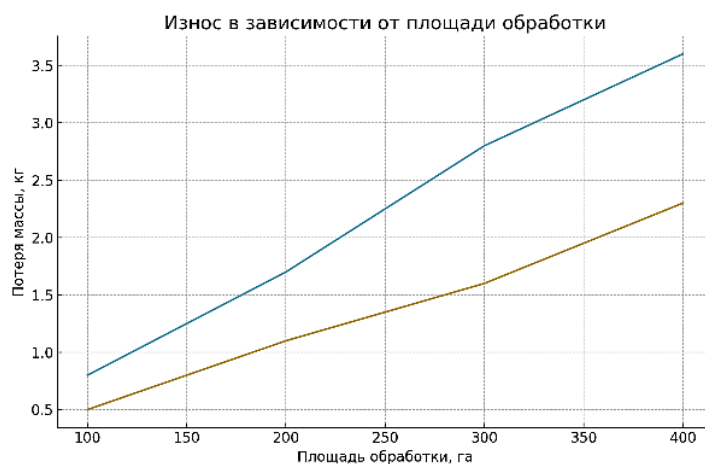


Рисунок 2 – Зависимость потери массы рабочих органов из сталей 30MnB5 и 65Г от площади обработки

Анализ данных, представленных на рисунке 2, показывает, что экспериментальная кривая потери массы для стали 30MnB5 располагается ниже кривой для стали 65Г на всём интервале наработки. Это свидетельствует о меньшей интенсивности износа и подтверждает более высокую эксплуатационную стойкость рабочих органов из стали 30MnB5 в условиях реальной полевой эксплуатации.

Экономическая эффективность применения исследуемых материалов оценивалась по методу полной стоимости владения (ТСО), включающему стоимость комплекта рабочих органов, ресурс до критического износа и удельную стоимость обработки одного гектара [7, с. 47]. Установлено, что при использовании рабочих органов из стали 30MnB5 стоимость обработки составляет 98–107 тг/га, а при использовании рабочих органов из стали 65Г – 118–135 тг/га. Таким образом, применение стали 30MnB5 позволяет снизить эксплуатационные затраты на 18–22% при одновременном увеличении межремонтного ресурса.

Таблица 2 – Сравнение эксплуатационных и экономических показателей

Материал	Стоимость комплекта, тг	Ресурс, га	Стоимость обработки, тг/га
30MnB5	≈45 000	420–460	98–107
65Г	≈38 000	280–320	118–135

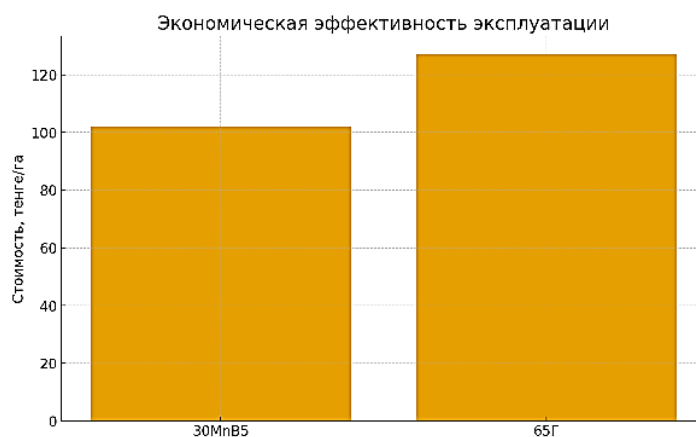


Рисунок 3 – Сравнение стоимости обработки 1 га при применении рабочих органов из сталей 30MnB5 и 65Г

Как следует из рисунка 3, стоимость обработки 1 га при использовании рабочих органов из стали 30MnB5 стабильно ниже по сравнению со сталью 65Г, что согласуется с результатами расчёта по методу полной стоимости владения и подтверждает экономическую целесообразность применения данной стали.

Полученные результаты подтверждаются и ранее выполненными исследованиями, посвященными повышению ресурса рабочих органов и оптимизации конструктивных решений в условиях локализации сельскохозяйственного машиностроения Республики Казахстан [7, с. 47; 12, с. 60; 13, с. 43]. Установлено, что сталь 30MnB5 является наиболее рациональной для локализованного производства благодаря большому ресурсу эксплуатации, устойчивости к абразивному износу и сокращению расходов на техническое обслуживание.

Обсуждение результатов

Полученные результаты демонстрируют прямую взаимосвязь между микроструктурой исследуемых сталей, характером распределения твердости по глубине упрочненного слоя и эксплуатационной стойкостью рабочих органов. В стали 30MnB5 формируется мелко пластинчатый мартенсит с упрочнением по границам зерен вследствие наличия бора, способствующего повышению прокаливаемости и равномерному распределению твердости по толщине закаленного слоя [4, с. 145]. Это обеспечивает более высокую ударную вязкость и снижает вероятность хрупкого разрушения режущей кромки при абразивно-ударных нагрузках.

В стали 65Г наблюдается высокая поверхностная твердость, однако резкое снижение твердости в подповерхностных слоях приводит к возникновению локальных концентраций напряжений и развитию выкрашивания режущей кромки. Такой механизм износа подтверждается результатами полевой эксплуатации: после обработки 200–250 га фиксируется ускоренное разрушение режущих кромок и рост потери массы рабочих органов [8, с. 230]. В то время как сталь 30MnB5 обеспечивает более равномерный износ поверхности с сохранением профиля режущей кромки даже при значительных обработанных площадях.

Вместе с тем, несмотря на выявленные преимущества стали 30MnB5, следует учитывать и определённые технологические ограничения её применения. В частности, борсодержащие стали более чувствительны к отклонениям режимов термообработки и требуют более строгого контроля температурных параметров закалки и отпуска для обеспечения стабильности структуры и свойств. Кроме того, использование легирования бором и необходимость соблюдения технологической дисциплины могут незначительно повышать себестоимость производства по сравнению с традиционными углеродистыми сталями. В условиях мелкосерийного или кустарного производства это может ограничивать эффективность применения 30MnB5. Однако при организации серийного производства и соблюдении регламентированных режимов термообработки указанные ограничения носят управляемый характер и не нивелируют полученные технологические и экономические преимущества, подтверждённые результатами настоящего исследования.

Следует также отметить, что абсолютные значения износа и ресурсных показателей рабочих органов могут варьировать в зависимости от конструктивных особенностей орудий (тип культиватора, бороны, геометрия рабочей части), режимов нагружения и условий эксплуатации. Вместе с тем выявленные в работе закономерности взаимосвязи между микроструктурой стали, глубиной упрочнённого слоя и механизмами разрушения режущей кромки носят универсальный характер и сохраняют свою применимость для широкого класса почвообрабатывающих машин. В дальнейшем представляется целесообразным расширение исследований на различные типы и модели сельскохозяйственных орудий с целью уточнения количественных характеристик износа.

Таким образом, определяющим фактором ресурса рабочих органов является не абсолютная величина поверхностной твердости, а глубина и равномерность упрочненного слоя, определяемые микролегированием и режимами термообработки. Преимущество стали 30MnB5 в структуре и прокаливаемости обеспечивает снижение интенсивности абразивного износа на 35–45%, а экономическая оценка по методу полной стоимости владения (ТСО) показывает снижение эксплуатационных затрат на 18–22% по сравнению со сталью 65Г [7, с. 47].

Полученные выводы согласуются с результатами исследований, посвященных повышению ресурса рабочих органов и повышению технологической независимости предприятий сельскохозяйственного машиностроения Республики Казахстан [7, с. 50; 12, с. 61; 13, с. 46], что подтверждает целесообразность применения стали 30MnB5 при локализованном производстве рабочих органов почвообрабатывающих машин.

Следует отметить, что аналогичные механизмы абразивного износа рабочих органов сельскохозяйственных машин, а также преимущество борсодержащих сталей по глубине упрочнённого слоя и стабильности износа, зафиксированы в исследованиях зарубежных авторов [14, 370; 16, с. 437; 18, с. 586]. Это подтверждает корректность полученных экспериментальных результатов и их сопоставимость с международными данными.

Заключение

Проведенное исследование подтвердило, что выбор марки стали является ключевым фактором, определяющим ресурс и эксплуатационную надежность рабочих органов почвообрабатывающих машин. Установлено, что сталь 30MnB5 формирует более глубокий и равномерно упрочненный слой

благодаря мелко пластинчатой мартенситной структуре и повышенной прокаливаемой, обеспечиваемой легированием бором [4, с. 145]. Это приводит к снижению интенсивности абразивного износа на 35–45% по сравнению со сталью 65Г и предотвращает хрупкие разрушения режущей кромки при абразивно-ударных нагрузках [11, с. 105; 8, с. 230].

Экономическая оценка, выполненная по методу полной стоимости владения (ТСО), показала снижение затрат на обработку 1 га почвы на 18–22% при использовании рабочих органов из стали 30MnB5. Таким образом, применение стали 30MnB5 является технически, экономически и технологически целесообразным решением для локализованного производства рабочих органов почвообрабатывающих машин в условиях Республики Казахстан [7, с. 47; 12, с. 60; 13, с. 43].

Полученные результаты могут служить основой для выбора рациональных режимов термообработки, разработки технологий поверхностного упрочнения и формирования серийных производственных маршрутов на предприятиях сельскохозяйственного машиностроения, ориентированных на импортозамещение и повышение ресурса техники.

Исследование выполнено в рамках проекта BR24992785 «Организация и проведение комплексных исследований по обеспечению устойчивого развития агропромышленного комплекса Костанайской области с созданием научно-исследовательского технологического центра».

ЛИТЕРАТУРА:

1. ГОСТ 4543–2016. Сталь легированная и высоколегированная. Общие технические условия [Текст] // Стандартинформ. – М., 2017. – 28 с.
2. Джанибеков А.Н., Королев В.И., Смирнов И.В. Влияние структуры закаленного слоя на износостойкость рабочих органов [Текст] // Тракторы и сельхозмашины. – 2020. – № 6. – С. 12–18.
3. ГОСТ 14959–2018. Прокат из конструкционной углеродистой и низколегированной стали. Технические условия [Текст] // Стандартинформ. – М., 2019. – 54 с.
4. Кулешов А.В. Трибология и износостойкость конструкционных сталей [Текст] // Екатеринбург: УрФУ. – 2021. – 254 с.
5. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.Н. Материаловедение [Текст] // М.: Машиностроение. – 2018. – 485 с.
6. Бочвар А.А., Третьяков В.Ф. Металлография и термообработка стали [Текст] // М.: Металлургия. – 2019. – 312 с.
7. Салыков Б.Р., Куанышбаев С.Б., Салыкова О.С. Исследование износостойкости лап культиватора при работе в абразивных почвах Северного Казахстана [Текст] // Ғылым және білім = Наука и образование. Вестник ЗКАТУ им. Жангир хана. – 2025. – № 1. – С. 45–52.
8. Салыков Б.Р., Куанышбаев С.Б., Чашков В.Н., Ысқақ А., Салыкова О.С., Мануйлов Н.В. Контроль и устранение отклонений геометрии рам почвообрабатывающих машин [Текст] // Ғылым және білім = Наука и образование. – 2025. – № 3–4 (80). – С. 228–238.
9. Karel R., Verner K. Effect of boron on hardenability and microstructure of low-alloy steels [Текст] // Materials & Design. – 2014. – Vol. 63. – P. 278–285.
10. Колчин Н.И., Михайлов Г.Н. Детали машин [Текст] // М.: Альянс. – 2020. – 368 с.
11. Hardell J., Olsson M. Abrasive wear behaviour of boron steels [Текст] // Wear. – 2011. – Vol. 272. – P. 102–108.
12. Асылбекова Г.Т., Сабыров Т.Б. Тенденции импортозамещения в АПК Казахстана [Текст] // Аграрная экономика. – 2022. – № 4. – С. 56–63.
13. Мухамедгалиев А.С. Оптимизация конструкционных материалов для сельхозмашиностроения в условиях локализации производства [Текст] // Вестник машиностроения. – 2023. – № 7. – С. 41–48.
14. Салыков Б.Р., Салыкова О.С., Комаров Д.Н., Мануйлов Н.В. Применение высокопрочных материалов при изготовлении сельскохозяйственной техники [Текст] // 3i: intellect, idea, innovation – интеллект, идея, инновация. – 2025. – № 1. – С. 194–200. – DOI: 10.52269/22266070_2025_1_194.
15. Han X., Li Y., Zhang Y., Liu Q. Abrasive wear characteristics of 30MnB5 steel for high-speed plough tip of agricultural machinery in Southern Xinjiang region [Текст] // Lubricants. – 2024. – Vol. 12, No. 11. – P. 368–376.
16. Bozkurt F., Çakır F.H., Er Ü. Investigation of the tribological and mechanical properties of boron steels in terms of potential usage in agricultural applications [Текст] // Politeknik Journal. – 2021. – Vol. 24, No. 2. – P. 431–438.
17. Pawlak K., Białobrzaska B., Konat Ł. The influence of austenitizing temperature on prior austenite grain size and resistance to abrasion wear of selected low-alloy boron steel [Текст] // Archives of Civil and Mechanical Engineering. – 2016. – Vol. 16, Iss. 4. – P. 813–821.
18. Kalácska Á., De Baets P., Fauconnier D., et al. Abrasive wear behaviour of 27MnB5 steel used in agricultural tines [Текст] // Wear. – 2020. – Vol. 442. – P. 582–590.

REFERENCES:

1. **GOST 4543–2016. Stal' legirovannaya i vy'sokolegirovannaya. Obshchie tehnicheckie usloviya** [Alloyed and high-alloyed steel. General technical requirements]. Standartinform, 2017. 28 p. (In Russian)
2. **Dzhanibekov A.N., Korolev V.I., Smirnov I.V. Vliyanie struktury' zakalennogo sloya na iznosostojkost' rabochih organov** [Influence of the hardened layer structure on wear resistance of working elements]. *Traktory' i sel'hozmashiny'*, 2020, no. 6. pp. 12–18. (In Russian)
3. **GOST 14959–2018. Prokat iz konstrukcionnoj uglerodistoj i nizkolegirovannoj stali. Tehnicheckie usloviya** [Rolled products made of structural carbon and low-alloy steel. Technical requirements]. Standartinform, 2019. 54 p. (In Russian)
4. **Kuleshov A.V. Tribologiya i iznosostojkost' konstrukcionny'h stalej** [Tribology and wear resistance of structural steels]. Yekaterinburg, UrFU, 2021, 254 p. (In Russian)
5. **Lahtin Yu.M., Leonteva V.N. Materialovedenie** [Materials science]. Moscow, Mashinostroenie, 2018. 485 p. (In Russian)
6. **Bochvar A.A., Tretyakov V.F. Metallografiya i termoobrabotka stali** [Metallography and heat treatment of steel]. Moscow, Metallurgiya, 2019, 312 p. (In Russian)
7. **Salykov B.R., Kuanyshbaev S.B., Salykova O.S. Issledovanie iznosostojkosti lap kul'tivatora pri rabote v abrazivny'h pochvah Severnogo Kazahstana** [Study of cultivator tine wear resistance in abrasive soils of Northern Kazakhstan]. *Gylym zhane bilim = Nauka i obrazovanie*, 2025, no. 1, pp. 45–52. (In Russian)
8. **Salykov B.R., Kuanyshbaev S.B., Chashkov V.N., et al. Kontrol' i ustranenie otklonenij geometrii ram pochvoobrabatyvayushhih mashin** [Control and elimination of frame geometry deviations in tillage machines]. *Gylym zhane bilim = Nauka i obrazovanie*, 2025, no. 3–4 (80), pp. 228–238. (In Russian)
9. **Karel R., Verner K. Effect of boron on hardenability and microstructure of low-alloy steels.** *Materials & Design*, 2014. Vol. 63. pp. 278–285.
10. **Kolchin N.I., Mihailov G.N. Detali mashin** [Machine parts]. Moscow, Al'yans, 2020. 368 p. (In Russian)
11. **Hardell J., Olsson M. Abrasive wear behaviour of boron steels.** *Wear*, 2011, vol. 272, pp. 102–108.
12. **Asylbekova G.T., Sabyrov T.B. Tendencii importozameshheniya v APK Kazahstana** [Trends of import substitution in Kazakhstan's agro-industrial complex]. *Agrarnaya e'konomika*, 2022, no. 4, pp. 56–63. (In Russian)
13. **Muhamedgaliev A.S. Optimizaciya konstrukcionny'h materialov dlya sel'hozmashinostroeniya v usloviyah lokalizacii proizvodstva** [Optimization of structural materials for agricultural machinery under production localization conditions]. *Vestnik mashinostroeniya*, 2023, no. 7, pp. 41–48. (In Russian)
14. **Salykov B.R., Salykova O.S., Komarov D.N., Manuilov N.V. Primenenie vy'sokoprochny'h materialov pri izgotovlenii sel'skohozyajstvennoj tehniki** [Application of high-strength materials in the manufacture of agricultural machinery]. *3i: Intellect, idea, innovation*, 2025, no. 1, pp. 194–200. (In Russian)
15. **Han X., Li Y., Zhang Y., Liu Q. Abrasive wear characteristics of 30MnB5 steel for high-speed plough tip of agricultural machinery in Southern Xinjiang region.** *Lubricants*, 2024, vol. 12, no. 11, pp. 368–376.
16. **Bozkurt F., Çakır F.H., Er Ü. Investigation of the tribological and mechanical properties of boron steels in terms of potential usage in agricultural applications.** *Politeknik Journal*, 2021, vol. 24, no. 2. pp. 431–438.
17. **Pawlak K., Białobrzaska B., Konat Ł. The influence of austenitizing temperature on prior austenite grain size and resistance to abrasion wear of selected low-alloy boron steel.** *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 2016, vol. 16, no. 4, pp. 813–821.
18. **Kalácska Á., De Baets P., Fauconnier D., et al. Abrasive wear behaviour of 27MnB5 steel used in agricultural tines.** *Wear*, 2020, vol. 442, pp. 582–590.

Сведения об авторах:

Салыков Булат Рахимжанович – кандидат технических наук, ассоциированный профессор (доцент) кафедры аграрной техники и транспорта, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, ул. Воинов Интернационалистов, 2а, тел.: 87758190343, e-mail: salykovbulat@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4929-1762>.

Куанышбаев Сеитбек Бекенович – доктор географических наук, Председатель Правления-Ректор, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, тел.: 87012339199, e-mail: info@ksu.edu.kz, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1352-3010>.

Ермолдина Гульназ Тлеубаевна – научный консультант НИИ прикладной биотехнологии, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, ул. Баумана, 12, тел.: 87773674633, e-mail: gulnazermoldina@gmail.com, Scopus Author ID: 57202112184, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2143-7618>, ResearcherID: GLP-9577-2022.

Мануйлов Николай Владимирович* – инженер кафедры программного обеспечения, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110005, г. Костанай, ул. Геологическая, 1, тел.: 87772315458, e-mail: mnlv.nv.94@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-6454-9541>.

Салықов Булат Рахимжанұлы – техникалық ғылымдар кандидаты, ауыл шаруашылығы техникасы және көлік кафедрасының қауымдастырылған профессоры (доценті), «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ., Интернационалист-жауынгерлер көш, 2а; тел.: 87758190343, e-mail: salykovbulat@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4929-1762>.

Қуанышбаев Сейітбек Бекенұлы – география ғылымдарының докторы, Басқарма төрағасы – Ректоры, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ., тел.: 87012339199, e-mail: info@ksu.edu.kz, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1352-3010>.

Ермолдина Гүлназ Тлеубайқызы – қолданбалы биотехнология ғылыми-зерттеу институтының ғылыми кеңесшісі, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ., Бауман көш, 12; тел.: 87773674633, e-mail: gulnazyermoldina@gmail.com, Scopus Author ID: 57202112184, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2143-7618>, ResearcherID: GLP-9577-2022.

Мануйлов Николай Владимирович* – бағдарламалық қамтамасыз ету кафедрасының инженері, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110012, Қостанай қ., Геологиялық көш, 1, тел.: 87772315458, e-mail: mnlv.nv.94@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-6454-9541>.

Salykov Bulat Rakhimzhanovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of agricultural machinery and transport, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 2a Voinov Internatsionalistov Str., tel.: 87758190343, e-mail: salykovbulat@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4929-1762>.

Kuanyshbayev Seitbek Bekenovich – Doctor of Geographical Sciences, Chairman of the Board – President, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, tel.: 87012339199, e-mail: info@ksu.edu.kz, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1352-3010>.

Yermoldina Gulnaz Tleubayevna – Scientific Consultant of the Research Institute of Applied Biotechnology, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 12 Bauman Str., tel.: 87773674633, e-mail: gulnazyermoldina@gmail.com, Scopus Author ID: 57202112184, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2143-7618>, ResearcherID: GLP-9577-2022.

Manuilov Nikolay Vladimirovich* – Engineer of the Department of software, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110012, Kostanay, 1 Geologicheskaya Str., tel.: 87772315458, e-mail: mnlv.nv.94@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-6454-9541>.

IRSTI 68.35.29

UDC 631.171

<https://doi.org/10.52269/SRDG2611201>

THE RELEVANCE OF DEVELOPING A METHODOLOGY OF ASSESSMENT OF THE QUALITY INDICATORS OF WORKING PARTS OF TILLAGE MACHINES

Shaimuratova E.S. – PhD student, Institute of Engineering and Food Technology, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Astana, Republic of Kazakhstan.

Gulyarenko A.A.* – PhD, Associate Professor of the Institute of Engineering and Food Technologies, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Astana, Republic of Kazakhstan.

An analysis of the current state of use of tillage machinery working parts reveals that a wide variety of factors influence the wear process of the working part. Abrasive wear alters the cutting-edge parameters and geometry of the working parts, which is the primary cause of non-compliance with agricultural requirements, as well as significant energy costs and, consequently, economic losses. Furthermore, a plowshare has a limited lifespan, and while a wide variety of hardening and restoration technologies currently exist, a simple and reliable method for assessing the quality of plowshares, whether new or hardened or reconditioned, is lacking. This is the main factor hindering the development of methods for hardening and restoring soil-cutting parts. This study substantiates the need for an objective and simple method for assessing the quality of tillage machinery working parts based on an analysis of wear factors, regulatory requirements, and expert assessments. A set of indicators and criteria is proposed that allows for a quantitative assessment of plowshare quality and an accurate comparison of various hardening and restoration technologies. The methodology was