

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ДЕТАЛЕЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Бетенья Г. Ф., канд. техн. наук, профессор;
Литовчик Д. П., инженер;
Голубев В. С., канд. физ.-мат. наук;
Давидович А. Н., канд. техн. наук;
Сушко И. С., генеральный директор;
Подборский А. Р., начальник КБА и СХМ ГСКБ;
Штуро Н. В., генеральный директор;
Близнюк А. С., зам. генерального директора

*(УО «Белорусский государственный аграрный
технический университет»; ГНУ «ФТИ НАН Беларуси»;
РУП «Минский завод шестерен»; РУП «МТЗ»;
ГК по машиностроению «Белагромаш»;
РО «Белагросервис», г. Минск)*

Детали рабочих органов большинства сельскохозяйственных машин, и особенно почворежущие детали (ПРД), непрерывно подвергаются ударным нагрузкам, абразивному износу и химическому воздействию обрабатываемой среды. Быстрый износ таких деталей, кроме затрат средств на изготовление запасных комплектов, приводит также к простоям сельскохозяйственной техники.

Работоспособное состояние ПРД определяется значениями всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствующие требованиям конструкторской документации. Основными такими параметрами, характеризующими функциональные качества ПРД, являются: способность к заглублению, тяговое сопротивление перемещению в почвенном слое, ресурс, прочность, ударная вязкость, сохраняемость остроты лезвия (так называемого стабилизированного почворежущего профиля).

Технические решения для достижения высокой работоспособности изделий должны учитывать целый комплекс факторов. К числу основных из них относятся триботехнические, конструкторские технологические, материаловедческие, эксплуатационные и экономические.

Отличительными признаками таких изделий являются:

– относительная износостойкость основного металла в 2,5–3 раза должна превышать этот показатель в сравнении с эталоном (сталь 45 в отожженном состоянии);

– твердость поверхностей трения должна находиться на уровне максимальных значений для среднеуглеродистых сталей и составлять не менее 58–60 HRCэ;

– ударная вязкость основного металла должна быть в пределах 0,6–1,25 МДж/м²;

– прочность основного металла вместо 500–800 МПа для исключения поломок и деформаций изделий должна составлять не менее 1500–2000 МПа;

– угол резания и угол заострения лезвия почворезущего профиля изделия не должны превышать 30°;

– сохраняемость остроты лезвия, так называемого стабилизированного профиля, характеризуемое непрерывным воспроизведением его исходной геометрии в процессе работы.

Зарубежные фирмы для производства ПРД применяют мало- и среднеуглеродистые марганцовистые (1,25–1,53%Mn) стали. Они, как правило, микролегированы бором с технологическими добавками титана и алюминия. Из сталей такого типа изготавливают рабочие органы сельхозмашин немецкая фирма «Rabewerk» (сталь 40ГР, 50–53 HRCэ), французская фирма «KUNN» (сталь 30ГР, 42–53 HRCэ), норвежская фирма «Kverneland» (сталь 30Г2Р, 48–52 HRCэ). Наряду с этим у ряда зарубежных фирм-производителей «Vogel & Noot», «Lemken», «Unia» и других получили применение так называемые бористые стали марок SB21M10B, SB27M12CB и SB43M14B. Они характеризуются следующим химическим составом (табл. 1).

Таблица 1. Химический состав марок сталей

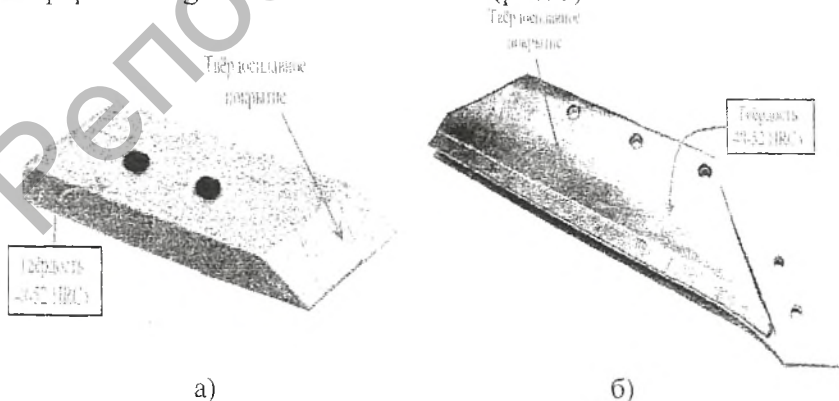
Марка стали	C	Si	Mn	P	S	Cr	B
SB21M10B	0.18– 0.23	0.15– 0.35	0.90– 1.10	<0.035	<0.035	0.10– 0.30	0.001– 0.003
SB27M12CB	0.40– 0.46	0.15– 0.35	1.30– 1.50	<0.035	<0.035	0.008– 0.025	0.001– 0.003
SB43M14B	0.25– 0.30	0.15– 0.35	1.0–1.4	<0.035	<0.035	0.30– 0.60	0.001– 0.006

Детали из этих сталей по всему сечению имеют одинаковую микроструктуру, характеризующуюся троостомартенситным строением (рис. 1).



Рис. 1. Микроструктура закаленной стали до твердости 48–52 HRCэ

Стали SB21M10B, SB27M12CB и SB43M14B в зависимости от способа термообработки позволяют получать твердость 48–52 HRCэ, ударную вязкость – 0,32–0,34 МДж/м². Типовые представители деталей фирмы «Vogel & Noot» показаны на (рис. 2).



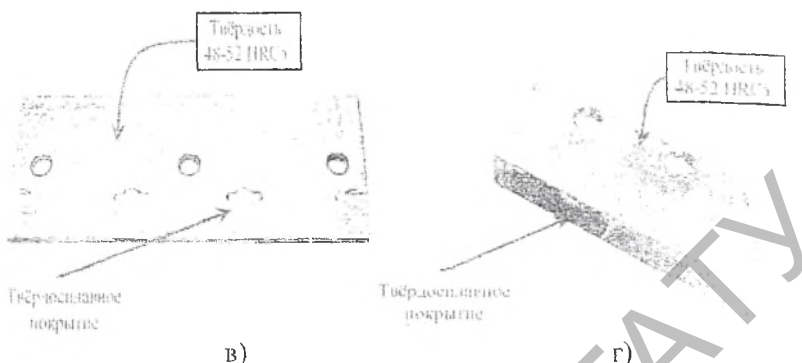


Рис. 2 Твердость поверхности и характерные упрочненные зоны типовых представителей ПРД западноевропейских фирм:

- а) долото плуга («Kverneland», «Lemken», «Gregoire Besson», «Vogel & Noot»);
- б) лемех плуга («Vogel & Noot»); в) полевая доска («Vogel & Noot»);
- г) лемех предплужника («Vogel & Noot»)

В последние годы отдельные западноевропейские фирмы используют новые материалы и технологии для изготовления ПРД. Отличительной особенностью производимых изделий являются их твердость в поперечном сечении (рис. 3).

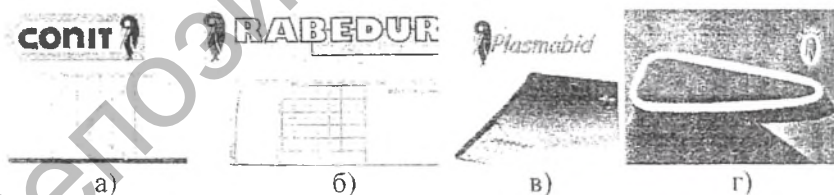


Рис. 3 Распределение твердости по сечению и типовые технологии, применяемые при производстве ПРД немецкой фирмой «Rabewerk»: а) технология «Conit»; б) технология «Rabedur»; в) технология «Plasmabid»; г) технология «Rabid»

На (рис. 4) представлена схема распределения твердости в поперечном сечении изделия (на примере отвала) в зависимости от выбранного материала.

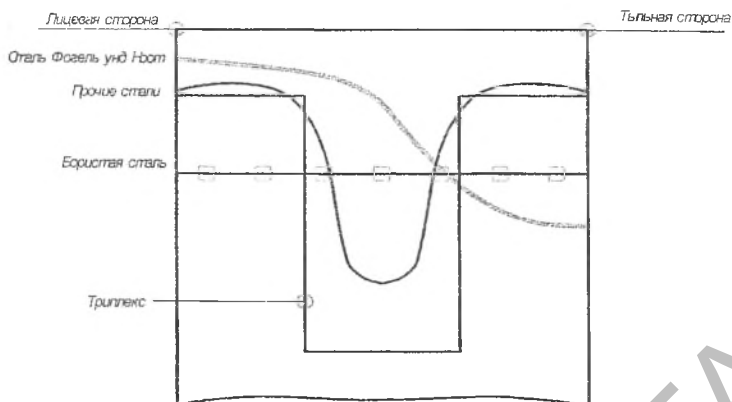


Рис. 4. Схема распределения твердости в поперечном сечении отвала в зависимости от выбранного материала

Такие изделия характеризуются высокой работоспособностью в эксплуатационных условиях. Преимуществами используемых материалов и технологий для производства ПРД являются: низкое содержание дорогостоящих легирующих элементов, хорошая закаливаемость, детали обладают достаточной ударной вязкостью, простая и недорогая термообработка, малая чувствительность к появлению закалочных трещин и короблению, возможность закалки сразу послековки, хорошая комбинация ударной вязкости и прочности.

Применяемые в настоящее время отечественными производителями в качестве материала основы почворезущих деталей стали марок 35; 45; 40Х; Л53; 65Г; 55С2; 60С2 и другие не удовлетворяют требованиям изделий нового поколения из-за низкого уровня твердости и прочности. Такие изделия не могут полноценно конкурировать с изделиями ведущих западноевропейских фирм.

Заслуживают внимания для изготовления деталей рабочих органов машин новые перспективные материалы, имеющиеся на рынке СНГ, – стали пониженной прокаливаемости (ПП). Они имеют следующие модификации: сталь 58 (55ПП) ГОСТ 1050–88; сталь 54, сталь 60ПП – ТУ завода-изготовителя. Эти материалы характеризуются следующим химическим составом: углерод – 0,5–0,65%; марганец – 0,1–0,3%; кремний – 0,1–0,3%; хром, никель и медь – не более 0,25% каждого.

При производстве ПРД из этих материалов находят применение новые перспективные методы упрочнения. При этом детали из стали ПП имеют диссипативное строение. Твердость поверхностного слоя составляет 58–64 HRC_э при относительно мягкой сердцевине – 28–42HRC_э. Они имеют высокий комплекс механических свойств (прочность – 2100–2300 МПа, ударная вязкость – от 0,6 МДж/м² до 1,25 МДж/м²). Микроструктура закаленного, промежуточного слоя и сердцевины представлена на рисунке 5. По основным технико-экономическим показателям они превосходят материалы, используемые западноевропейскими производителями.

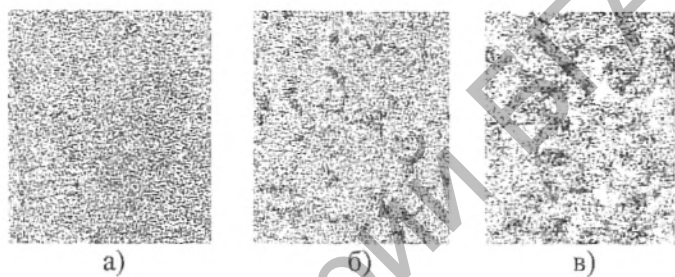


Рис. 5. Фотографии микроструктуры в поперечном сечении плоского образца в характерных зонах:
а) поверхностный слой; б) промежуточный слой; в) сердцевина

Представленный пример научного поиска решения проблемы свидетельствует о необходимости перехода к использованию современных достижений научно-технического прогресса на всех этапах их изготовления – получение заготовки и ее упрочнение. При этом должны широко применяться ресурсо- и энергосберегающие технологии: тепловое и горячее термопластическое деформирование, объемное термическое модифицирование; высокочастотное объемное термическое модифицирование; лазерное упрочнение; плазменное упрочнение, диффузионное намораживание и другие методы.

В основу технологий получения заготовок деталей рабочих органов должны быть положены методы плазменной и лазерной резки (раскройки листового проката), штамповки,ковки, поперечной и продольной клиновой прокатки. Особое внимание должно быть уделено технологии формообразования режущей части деталей. Обра-

ботку резанием при заточке лицевой части изделия должны заменить высокопроизводительные технологии с применением поперечной и продольной клиновой прокатки (рис. 6).

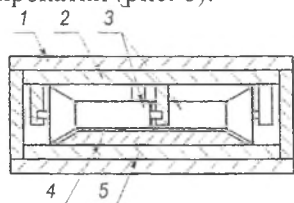


Рис. 6. Принципиальная схема поперечной клиновой прокатки:

1 – станина; 2 – упор; 3 – ролики; 4 – заготовка; 5 – плита

Полученная заготовка после поперечной или продольной прокатки подвергается объемному термическому или высокочастотному объемному термическому модифицированию и другим методам упрочнения.

Объемное термическое модифицирование осуществляется термическим воздействием на деталь в твердом состоянии. Воздействие осуществляется как в непрерывном, так в импульсном режиме нагрева. Наибольшее распространение получила поверхностная закалка, обусловленная полиморфными превращениями. При этом в поверхностном слое может происходить существенное изменение параметров кристаллической решетки, а также изменение типа решетки. В общем случае происходит изменение зеренной структуры (рис. 7).

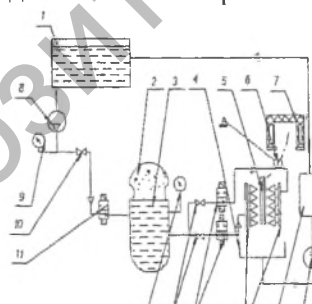


Рис. 7. Кинематическая схема установки для термического модифицирования:

1 – резервуар; 2 – колпак рессивера; 3 – емкость рессивера;

4 – закалочная ванна; 5 – деталь; 6 – механизм загрузки и выгрузки;

7 – печь сопротивления; 8 – насос; 9 – потенциометр;

10 – кран; 11 – пневмоклапан; 12 – манометр; 13 – кран;

14 – пневмоклапан; 15 – спрейеры; 16 – станция охлаждения; 17 – насос

Она состоит из двух переходов: нагрева детали и быстрого ее охлаждения. Поверхностную закалку применяют обычно для образования твердого износостойкого слоя на определенных участках деталей, изготовленных из средне- и высокоуглеродистых и перлитных сталей, ковкого, серого и высокопрочного чугунов с содержанием 0,6% связанного углерода.

При высокочастотном объемном термическом модифицировании поверхностный слой разогревается индуктором до температуры закалки. Затем нагретая поверхность резко охлаждается водяным душем (рис. 8).

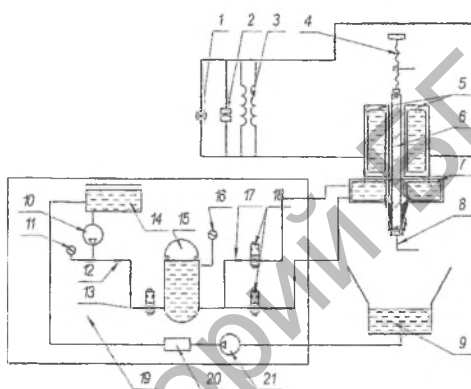


Рис. 8. Совмещенная кинематическая схема установки для высокочастотного объемного термического модифицирования: 1 – генератор; 2 – компенсатор; 3 – трансформатор; 4 – прижимной винт; 5 – индуктор; 6 – заготовка; 7 – спрейер; 8 – планшайба; 9 – ванна с водой; 10 – насос; 11 – манометр; 12 – кран; 13 – пневмоклапан; 14 – резервуар; 15 – ресивер; 16 – манометр; 17 – кран; 18 – пневмоклапан; 19 – технологический модуль для охлаждения; 20 – станция охладительная; 21 – насос

При высокочастотном термическом модифицировании закаливаются поверхностные слои, основа при этом остается вязкой, что предохраняет деталь от хрупкого излома при циклическом действии нагрузки.

На заключительных этапах изготовления деталей рабочих органов могут применяться лазерные технологии. Лазерное упрочнение (закалка) основано в локальном нагреве поверхности до сверхкритических температур лазерным излучением. После прекращения действия

источника излучения этот участок охлаждается в результате теплоотвода энергии во внутренние слои металла. Нагрев осуществляется, как правило, без оплавления поверхности. В большинстве своем лазерная закалка дает стабильный прирост твердости на 3–4 единицы HRCэ по сравнению с максимальной твердостью, достигаемой на данной марке стали стандартными методами термообработки.

Эффективным методом повышения износостойкости деталей является лазерное модифицирование (наплавка) с одновременной закалкой поверхностного слоя. Поверхность, подлежащая обработке, покрывается слоем износостойкого материала, содержащего легирующие элементы. Луч сканируют по поверхности детали. Режим сканирования подбирается таким, чтобы температура в микрообъемах поверхности обеспечивала плавление обмазки (рис. 9).

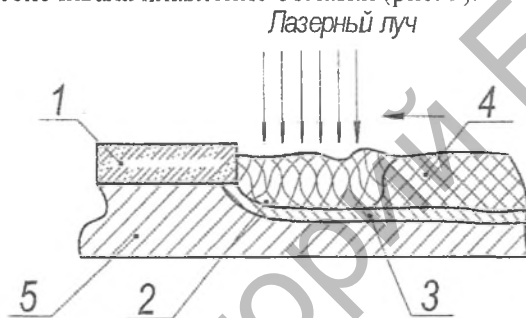


Рис. 9. Схема лазерной наплавки:

- 1 – обмазка (материал будущей наплавки); 2 – расплав;
- 3 – зона лазерной закалки;
- 4 – наплавленный слой; 5 – основной металл

Как видно из схемы лазерной наплавки (рис. 9), проплавляется весь поверхностный слой. В процессе плавления легирующие элементы внедряются в кристаллическую решетку материала детали. Возникает возможность внедрения в кристаллическую решетку даже такого элемента, с которым вещество детали вообще не может образовать твердого раствора. Такие метастабильные структуры, прочно связанные с основой, обладая сверхвысокой твердостью, обеспечивают резкое повышение износостойкости.

Высокая точность наведения лазерного луча к месту наплавки, локальность действия лазерного излучения позволяют упрочнять строго определенные участки деталей и получать тонкие слои покрытий (0,1–0,3 мм). Кратковременность протекания процесса (длитель-

ность импульса составляет несколько миллисекунд), а также точная дозировка энергии обеспечивают минимальные зоны термического влияния и отсутствие деформаций. Лазерная наплавка позволяет значительно снизить трудоемкость и себестоимость изготовления за счет исключения предварительного подогрева, последующей термообработки, снятия и нанесения хромистого покрытия, а также значительного уменьшения объема последующей механической обработки.

Для модифицирования поверхностей деталей рабочих органов могут также применяться плазменные технологии. Плазменно-порошковая наплавка (ППН) – механизированный процесс, при котором источником теплоты служит плазменная дуга, а присадочным материалом служат гранулированные металлические порошки, которые подаются в плазматрон транспортирующим газом с помощью специального питателя (рис. 10).

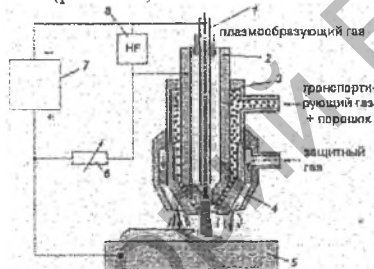


Рис. 10. Схема плазменно-порошковой наплавки:

- 1 – электрод; 2 – плазменное сопло; 3 – фокусирующее сопло;
- 4 – защитное сопло; 5 – деталь; 6 – балластный реостат;
- 7 – источник питания; 8 – осциллятор

Благодаря возможности регулирования в широком диапазоне соотношения между тепловой мощностью дуги и подачей присадочного порошка ППН обеспечивает достаточно высокую производительность при минимальном проплавлении основного металла, что позволяет обеспечивать требуемую твердость и заданный химический состав наплавленного металла уже на расстоянии 0,3–0,5 мм от поверхности сплавления. Это дает возможность ограничиться однослойной наплавкой там, где электродуговым способом необходимо наплавить 3–4 слоя.

Важной особенностью ППН является отличное формирование наплавленных валиков, стабильность и хорошая воспроизводимость их размеров. Установлено, что у 95% наплавленных деталей отклонение толщины наплавленного слоя от номинального размера не превышает 0,5 мм. Это позволяет существенно сократить расход наплавочных материалов, время наплавки, а также затраты на механическую обработку наплавленных деталей.

Плазменно-порошковая наплавка обеспечивает высокую работоспособность деталей за счет отличного качества наплавленного металла, его однородности, а также благоприятной структуры, определяемой специфическими условиями кристаллизации металла сварочной ванны.

На кафедре ремонта машин УО «Белорусский государственный аграрный технический университет» выполнены научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по использованию сталей ПП, включающие применение упрочнения объемным термическим или высокочастотным объемным термическим модифицированием. Эти технологии освоены и используются РУП «Минский завод шестерен» при изготовлении долот и лемехов тракторных плугов. Детали, изготовленные из стали 60ПП, свидетельствуют об их высоком техническом уровне. Технологии их получения по производительности, качеству, стоимости работ и экологической безопасности превосходят аналогичные традиционные технологии и могут рекомендоваться к практическому применению при упрочнении аналогичных деталей рабочих органов сельскохозяйственной техники.

В целом можно заключить, что современные отечественные технологии и материалы, разрабатываемые научными центрами и апробированные в производственных условиях позволяют обеспечивать деталям нового поколения рабочих органов машин технический уровень, не уступающий лучшим мировым аналогам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ткачев В. Н. Работоспособность деталей машин в условиях абразивного изнашивания. – М. : Машиностроение, 1995. – 336 с.
2. Бетень Г. Ф. Восстановление и упрочнение почворежущих элементов диффузионным намораживанием износостойкими сплавами. – Мн. : УО БГАТУ, 2003. – 188 с.