

23. Получение, свойства и применение порошков алмаза и кубического нитрида бора / Под ред. П.А. Витязя. Минск: Беларуская навука, 2003. – 335 с.

24. Нанотехнологии в ближайшем десятилетии. Прогноз направления исследований / Под ред. М.К. Роко, Р.С. Уильямса и П. Аливисатоса. Пер. с англ. – М.: Мир, 2002. – 292 с.

25. Пул-мл. Ч., Оуэнс Ф. Нанотехнологии. – М.: Техносфера, 2006. – 336 с.

26. Федоренко В. Ф. Нанопорошки в сельскохозяйственной технике. – 2007 // Электронный ресурс: <http://nanoagro.ru/selhoztehnika>.

УДК 721.785

ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНЫХ ДЕТАЛЕЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

*Бетенья Г.Ф., к.т.н., доц.,
Анискович Г.И., к.т.н., доц.*

(Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск)

*Голубев В.С., к.ф-м.н.,
Давидович А.Н., к.т.н.*

(ГНУ «ФТИ НАН Беларуси», г. Минск)

Штуро Н.В., инженер

(ГПО «Белагромаш», г. Минск)

Ведущие фирмы-производители сельскохозяйственных машин выпускают сменные детали (долото, лемех, отвал, полевая доска, ножи измельчающего аппарата кормоуборочных машин, ножи косилок, диски борон, сегментных ножей кукурузных жаток, копачей и подрезающих ножей ботвы свеклоуборочных комбайнов, оборотных лап культиваторов, зубья культиваторов с активными рабочими органами, стрельчатые лапы, лапы глубоких лопат и др.) нового поколения. Они характеризуются высокими физико-механическими свойствами и показателями работоспособности. Конкурентоспособность изделий обеспечивается наукоемкими технологиями и соответствующим стальным прокатом.

Анализ конструкционных материалов, используемых в последние годы (15 лет) предприятиями Республики Беларусь и другими государствами СНГ, свидетельствует о применении недорогих марок сталей, а также традиционных методов термообработки (закалки и отпуска). Твердость изделий составляет 35,5...48 HRC, прочность не превышает 900...1200 МПа, ударная вязкость находится в пределах 0,2...0,6 МДж/м² (таблица 1). Применяемые в настоящее время отечественными производителями в качестве материала основы стали

марок 35; 45; 40X; Л53; 65Г; 55С2; 60С2 и др. не удовлетворяют требованиям изделий нового поколения из-за низкого уровня твердости и прочности. Такие изделия не могут полноценно конкурировать с изделиями ведущих западноевропейских фирм.

За рубежом детали рабочих органов преимущественно получают из более прочных борсодержащих (с добавками молибдена, титана) мало- и среднеуглеродистых сталей. Аналогами их в СНГ являлись стали 30ГР, 40ГР, 30Г2Р и др. Применение таких сталей и специальных способов термической обработки позволило достичь повышенных эксплуатационных свойств. Детали упрочнялись до твердости 48...52 HRC, прочность превышала 1200 МПа (таблица 2).

Таблица 1

Материалы, применяемые для изготовления деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин [1]

Марка стали	Массовая доля элементов, %						Вид термообработки и твердость	Механические свойства после термообработки	
	C	Si	Mn	S	P	Cr		σ_B , МПа	KCU, МДж/м ²
35	0,32... 0,40	0,17... 0,37	0,50... 0,80	0,04	0,035	0,25	Локальная закалка лезвия ТВЧ на твердость 35,5...39,5HRC, иногда применяют нормализацию или улучшение	735	0,29
50	0,47... 0,55	0,17... 0,37	0,50... 0,80	0,04	0,035	0,25		830	0,64
45	0,42... 0,50	0,17... 0,37	0,50... 0,80	0,04	0,035	0,25		750	0,60
40X	0,36... 0,44	0,17... 0,37	0,50... 0,80	0,035	0,035	0,80... 1,1	Закалка ТВЧ или объемная термообработка на твердость 41,5...45,5HRC	1200	0,49
Л53	0,50... 0,55	0,35	1,45	0,04	0,035	-	Закалка ТВЧ или объемная термообработка на твердость 44,5...48,5HRC	800	0,60
65Г	0,62... 0,70	0,90... 1,20	0,17... 0,37	0,035	0,035	0,25	Объемная термообработка на твердость 39,5...43,5HRC или закалка лезвийной части ТВЧ на твердость 44,5... 49HRC	800	0,55
40Г2	0,36... 0,44	0,17... 0,37	1,40... 1,80	0,035	0,035	0,30	Объемная термообработка на твердость 40,5... 45,5HRC	1040	0,29
60С2	0,57... 0,65	0,60... 0,90	1,5... 2,0	0,035	0,035	0,30	Объемная термообработка на твердость 41,5...49,5HRC	1100	0,23

Таблица 2

Химический состав сталей, применяемых зарубежными производителями для изготовления деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин [2]

Наименование детали	Фирма, страна	Химический состав, %							Марка стали (отечественный аналог)
		C	Si	Mn	Cr	S	P	B	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Лемех долотообразный	“Rabewerk” (Германия)	0,39	0,24	1,36	0,13	0,026	0,018	0,0040	40ГР (ГОСТ 4543-71)
2. Лемех с накладным долотом	“Huard” (Франция)	0,28	0,30	1,16	0,42	0,009	0,009	—	Типа 30ГР
3. Лемех с накладным долотом	То же	0,31	0,31	1,48	0,48	0,021	0,011	0,0060	Типа 30Г2Р
4. Лемех с накладным долотом	“Kverneland” (Норвегия)	0,25	0,29	1,18	0,16	0,010	0,031	0,0008	Типа 30Г2Р
5. Лемех трапециевидный	“Morris” (Канада)	0,90	0,29	0,76	0,12	0,035	—	—	Типа У9 с повышенным содержанием Мп
6. Лемех долотообразный	“BBC” (Германия)	0,45	1,06	1,52	0,19	0,035	0,029	—	Типа 45Г2С
7. Лемех долотообразный с наплавкой	“Raba” (Венгрия)	0,30	0,30	1,46	0,05	0,020	0,013	—	30Г2 (ГОСТ 4543-71)
8. Долото	“Case” (США)	0,44	0,24	1,46	0,14	0,023	0,012	0,041	45Г2 легированная В
9. Долото	“Paraplaw” (Англия)	0,41	0,32	0,68	0,11	0,022	0,017	—	40 (ГОСТ 1050-88)

Примечания:

1. Никель и медь присутствуют в качестве примеси в пределах 0,05-0,16% и 0,03-0,20% соответственно.
2. В отдельных образцах обнаружены следы молибдена (0,02-0,03% в дет. 2, 5, 6).
3. Все борсодержащие стали содержат алюминий (0,028-0,08%) и титан (0,012-0,05%).

Наряду с этим отдельные западноевропейские фирмы разработали и реализовали наукоемкие технологии «Conit» (Kverneland, Норвегия), «Triplex» и «Dreilagenmaterial» (Huard, Франция), «Rabid» (Rabewerk, Германия), «Plasmabid» (Rabe, Германия), а так же лазерные и плазменные способы упроч-

нения деталей в сочетании со специальными процессами термической обработки, новые материалы, например, Permanit© (Vogel und Noot, Австрия). Изделия, полученные с применением технологий «Conit» и «Triplex» обладают высокой конкурентоспособностью и наиболее соответствуют ударно-абразивным условиям эксплуатации. Отличительной особенностью этих изделий является 3-х слойное строение поперечного сечения, так называемое диссипативное (градиентное) структурное строение. Поверхностные слои изделий имеют высокую прочность (1200...1800 МПа) и твердость (до 67 HRC). Сравнительно пластичная сердцевина при этом обеспечивает повышенную ударную вязкость изделий. Названные технологии являются интеллектуальной собственностью разработчиков.

Изделия, изготовленные по этим технологиям, характеризуются высокой работоспособностью в эксплуатационных условиях. Преимуществами используемых материалов и технологий для производства деталей являются: низкое содержание дорогостоящих легирующих элементов; хорошая закалываемость; детали обладают достаточной ударной вязкостью; простота и недорогая термообработка; малая чувствительность к появлению закалочных трещин и короблению; возможность закалки сразу послековки; хорошая комбинация ударной вязкости и прочности.

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 60ПП – ТУ 14-1-19-26-76. 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 деталей 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 при относительно мягкой сердцевине – 28...42 HRC. Они имеют высокий комплекс механических свойств (прочность 2100...2300 МПа, ударная вязкость от 0,6 МДж/м² до 1,25 МДж/м²). По основным технико-экономическим показателям они превосходят материалы, используемые западноевропейскими производителями.

Представленный пример поиска решения проблемы свидетельствует о необходимости перехода на использование современных достижений научно-технического прогресса на всех этапах их изготовления: получение заготовки и её упрочнение. При этом должны широко применяться ресурсо- и энергосберегающие технологии: тепловое и горячее термопластическое деформирование, объёмное термическое модифицирование; высокочастотное объёмное термическое модифицирование; лазерное упрочнение; плазменное упрочнение, диффузионное намерзание и др. 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. Обработку резанием при заточке лицевой части изделия должны заменить высокопроизводительные технологии с применением с применением поперечной и продольной клиновой прокатки.

В лаборатории поперечной клиновой прокатки ГНУ «ФТИ НАН Беларуси» разработаны технологии термопластической обработки заготовок ножей измельчающего аппарата кормоуборочного комбайна, лемехов плугов, лап культиваторов, ножей свеклоуборочного комбайна, зубьев роторной бороны, ножей роторной косилки. Заготовки ножей измельчителя в процессе формообразования лезвийной части в клети прокатного стана и после прокатки показаны на рис. 1.

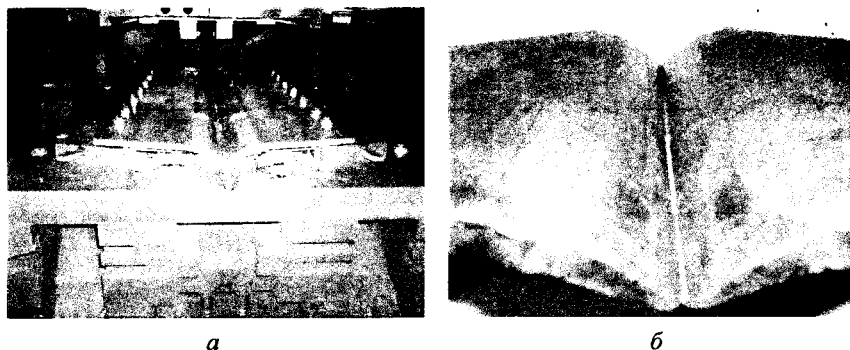


Рис. 1. Накатка лезвий ножа измельчителя методом термопластической обработки:

*а – формообразования лезвийной части ножа в клети прокатного стана;
б – заготовки ножей измельчителя после прокатки.*

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. Процесс состоит из двух переходов: нагрева детали и быстрого её 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 непрерывно-последовательном термическом модифицировании поверхностный слой разогревается индуктором до температуры закалки. Затем нагретая поверхность резко охлаждается водяным душем (рис.2).

Специалистами учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», Производственного объединения «Минский тракторный завод» и РУП «Минский завод шестерен» получены положительные результаты по изготовлению деталей для работы в абразивной среде из сталей пониженной прокаливаемости.

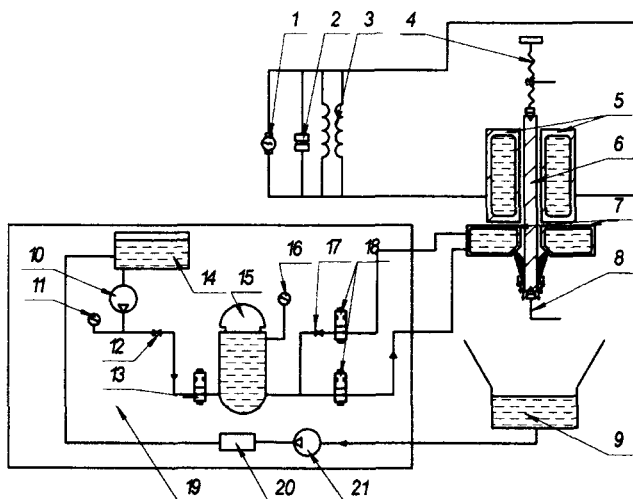


Рис. 2. Совмещённая кинематическая схема установки для высокочастотного непрерывно-последовательного термического модифицирования где: 1-генератор; 2-компенсатор; 3- трансформатор; 4- прижимной винт; 5- индуктор; 6- заготовка; 7- спрейер; 8- планшайба; 9-ванна с водой; 10- насос; 11- манометр; 12-кран;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

Технологии упрочнения и конструкционные материалы (стали 55пп, 60пп и др., таблица 3) соответствуют специфическим свойствам почв (засоренность камнями и высокая абразивная изнашивающая способность) и являются экологически чистыми. Основными характеристиками экспериментальных деталей являются: мелкозернистая мартенситная структура поверхностного слоя толщиной 2..3 мм; прочность находится в пределах 2100...2300 МПа; твердость поверхности 60 HRC и более; пластичная сердцевина изделия имеет твердость 28...40 HRC, ударная вязкость составляет 1,0...1,25 МДж/м². Полученные изделия по техническому уровню являются конкурентоспособными с лучшими мировыми аналогами. Разработки защищены патентами.

В соответствии с заданием 2.1 ГНТП «Белсельхозмеханизация» в технологическом научно-производственном центре (ТНПЦ) БГАТУ с использованием вышеупомянутых материалов (сталь 60ПП) и технологий их упрочнения были изготовлены и переданы на приемочные испытания опытные образцы лемехов, полевых досок и грудей отвалов корпуса плуга. Анализ микроструктуры опытных образцов деталей показал, что в результате применения цементации для восстановления обезуглероженных слоев (толщиной 0,2...0,4мм) с последующей объемно-поверхностной закалкой и низким отпускком структура грудей отвалов (рис. 3) в поперечном сечении состоит из мелкозернистого мартенсита, незначительного количества мелких равномерно распределенных карбонитридов и возможно остаточного аустенита, структура сердцевины – троостомар-

тенситная. Структура закаленного слоя лемеха (рис. 4) представляет собой мелкозернистый мартенсит, сердцевины – троостосорбит. Структура закаленного слоя полевой доски (рис. 5) – мартенсит мелкозернистый, а ее сердцевины – сорбит. Структура закаленного слоя долота (рис. 6) – мартенсит среднеигльчатый, сердцевины – троостосорбит с включениями феррита.

Распределение твердости по толщине опытных образцов деталей корпуса плуга представлены на рис. 7 – 10.

Изготовленные по технологии БГАТУ детали корпуса плуга в 2008г. проходили приемочные испытания на объектах ИЦ ГУ «Белорусская МИС». По результатам испытаний износостойкость опытных образцов лемехов в 1,5 раза, полевых досок в 4,67 раза и грудей отвалов в 1,56 раза выше износостойкости аналогичных деталей отечественного производства (РУП «Сморгонский агрегатный завод») и сопоставима с износостойкостью деталей импортного производства (фирма «Квернеланд»).

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 HRC по сравнению с максимальной твердостью, достигаемой на данной марке стали стандартными методами термообработки.

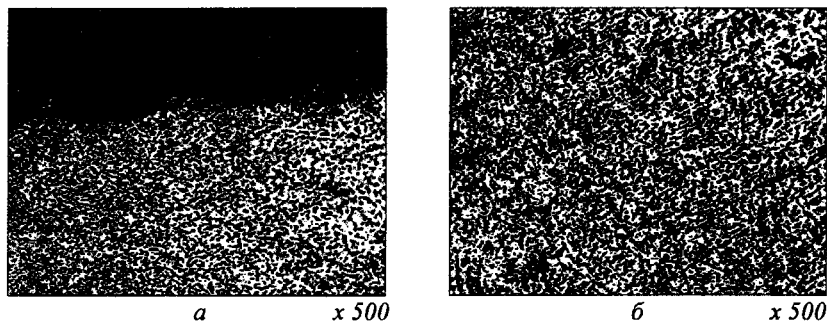
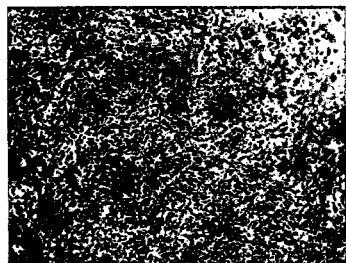
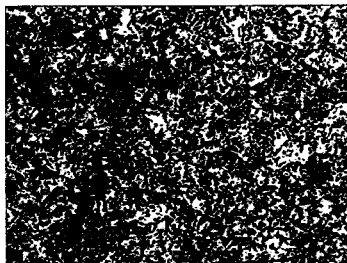


Рис. 3. Микроструктура опытных образцов грудей отвалов изготовленных из стали 60ПП после цементации на глубину обезуглероженного поверхностного слоя с последующей объемной поверхностной закалкой и низким отпусканием
(*а – поверхностный слой, б – сердцевина*)

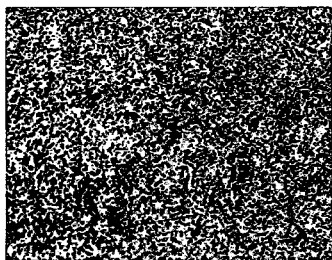


a x500

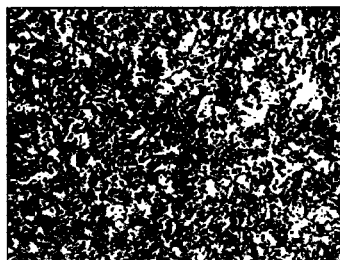


б x500

Рис. 4. Микроструктура опытных образцов лемехов изготовленных из стали 60ГП после цементации на глубину обезуглероженного слоя с последующей объемной поверхностной закалкой и низким отпуском
(*a* – поверхностный слой, *б* – сердцевина)

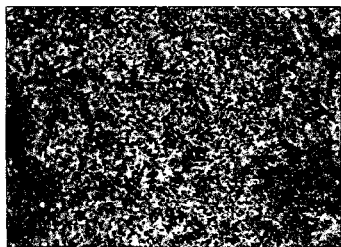


a x500

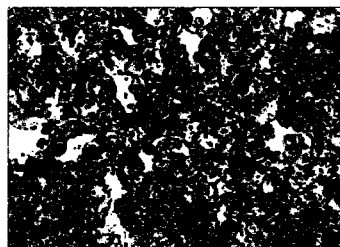


б x500

Рис. 5. Микроструктура опытных образцов полевых досок изготовленных из стали 60ГП после цементации на глубину обезуглероженного слоя с последующей объемной поверхностной закалкой и низким отпуском
(*a* – поверхностный слой, *б* – сердцевина)



a x500



б x500

Рис. 6. Микроструктура опытных образцов оборотных долот изготовленных из стали 60ГП с объемной поверхностной закалкой и низким отпуском
(*a* – поверхностный слой, *б* – сердцевина)

Результаты исследования химического состава и физико-механических свойств материалов деталей корпусов плугов

Наименование детали (материала)	Индекс	Массовая доля элемента, %											Твердость, HRC		Микроструктура		Примечание			
		C	Mn	Si	V	P	Ti	Nb	Al	B	Cr	Ni	Mo	Cu	S	Поверхности		Сердцевины	Поверхности	Сердцевины
Долото фирмы «Gregoite Besson»	173331L	0,31	1,27	0,26	-	0,007	0,03	-	0,03	0,004	0,53	0,10	0,05	0,19	0,007	51... 52	-	троостит	троостит	образцы импортные
		0,23	1,22	0,26	-	0,010	0,03	-	0,03	-	0,50	0,10	0,05	0,11	0,007	48... 49	-	троостит	троостит	образцы импортные
Долото конструкции БГАУ (сталь 80пп)	оборотное	0,84	0,07	0,04	-	0,004	0,12	-	0,07	-	0,04	0,06	-	-	0,011	67... 68	42... 49	троостит	троостит	экспериментальные образцы стали 80ПП
		0,57	0,10	0,10	-	-	-	-	-	-	0,05	0,05	-	-	-	55... 58	30... 42	троостит	троостит	экспериментальные образцы стали 60ПП
Лемех фирмы «Rabe»	основа	0,30	1,18	0,27	-	0,007	0,04	-	-	-	0,60	0,10	0,05	0,20	0,03	48... 49	-	троостит	троостит	образцы импортные «Plasmabid»
		4,0	0,43	0,95	0,40	-	0,04	4,9	-	0,56	12,5	0,17	3,50	0,08	-	67	-	интермет +аустенит	интермет +аустенит	
Сталь бористая SB27M12CB	металургическая компания «OVAKO» Швеция	0,25	1,0	0,15	-	0,035	-	-	0,001	0,30	-	-	-	-	0,035	45... 50	-	троостит	троостит	Закалочная среда: вода или масло
		0,30	1,4	0,35	-	-	-	-	-	0,006	0,60	-	-	-	-	-	-	троостит	троостит	

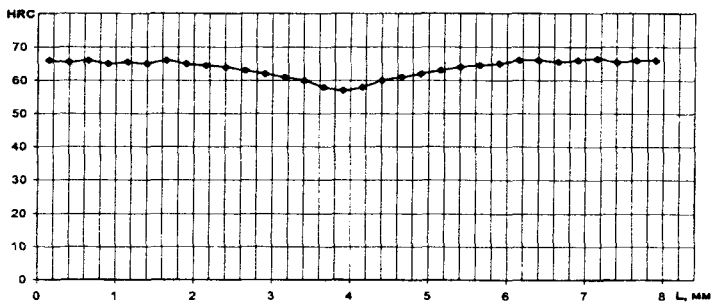


Рис. 7. Распределение твердости по толщине опытных образцов гребней отвалов

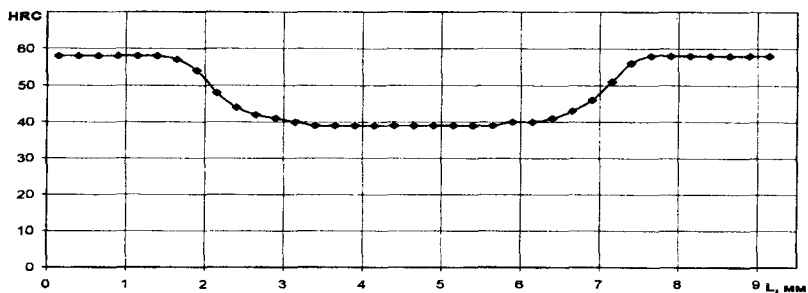


Рис. 8. Распределение твердости по толщине опытных образцов лемехов

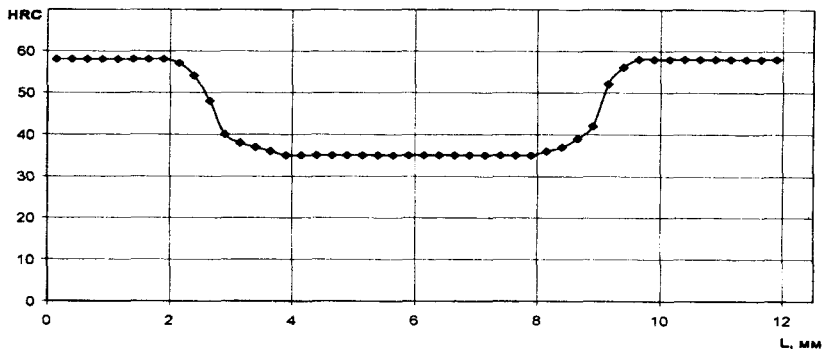


Рис. 9. Распределение твердости по толщине опытных образцов полевых досок

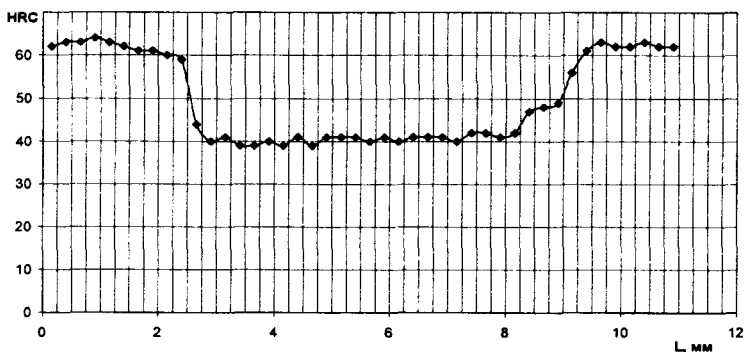


Рис. 10. Распределение твердости по толщине опытных образцов обратных долот

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. 11).

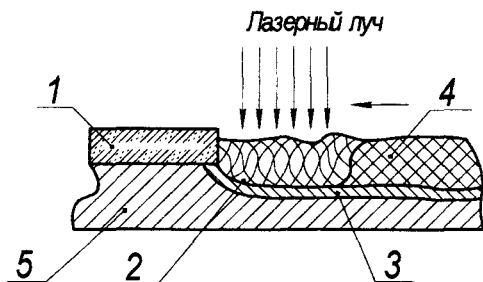


Рис. 11. Схема лазерной наплавки:
 где: 1-обмазка (материал будущей наплавки); 2-расплав;
 3-зона лазерной закалки; 4-наплавленный слой; 5-основной металл

Как видно из схемы (рис. 11) при лазерной наплавке 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, обладающая сверхвысокой твердостью, обеспечивают резкое повышение износостойкости.

Высокая точность наведения лазерного луча к месту наплавки, локальность действия лазерного излучения позволяет упрочнять строго определенные

участки деталей и получать тонкие слои покрытий (0,1...0,3 мм). Кратковременность протекания процесса (длительность импульса составляет несколько миллисекунд), а также точная дозировка энергии обеспечивает 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 механообработки.

В лаборатории лазерной обработки материалов ГНУ «ФТИ НАН Беларуси» обоснованы материалы и оптимальные режимы упрочнения деталей сельскохозяйственных машин, работающих в условиях абразивного изнашивания и ударных нагрузок. Метод лазерного модифицирования был применен к сегментным ножам для уборки кукурузы, ножам свеклоуборочных комбайнов (рис. 12) и дискам сошников.

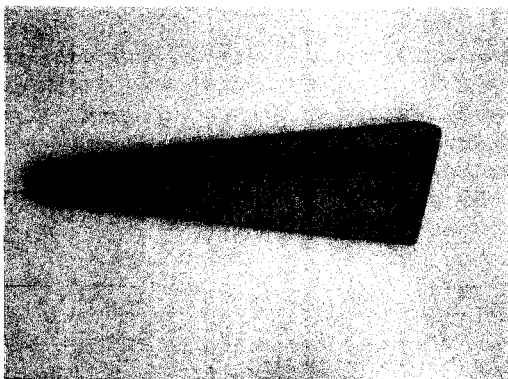


Рис. 12. Упрочненный лазерным модифицированием нож свеклоуборочного комбайна КСН-6

В ходе полевых испытаний ножей комбайна КСН-6 рабочие части не упрочненных ножей (свидетелей) дообрезки ботвы изнашивались полностью при наработке 130 га. После чего изношенные ножи были заменены на новые. Износ второго комплекта на последующих 40 га составил 1/3 от предельного. Износ упрочненных ножей при общей наработке 170 га составил не более 1 мм. (рис. 13). Таким образом, результаты испытаний показывают, что упрочненные ножи могут иметь ресурс в 7-10 раз более высокий, чем не упрочненные. При этом отмечается, что качество обрезки ботвы, также было значительно выше.

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 плазмотрон транспортирующим газом с помощью специального питателя (рис. 14).

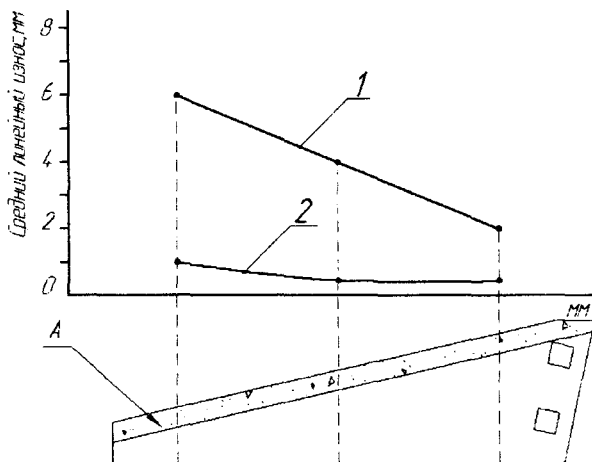


Рис. 13. Износ ножей для дообрезки ботвы свеклоуборочного комбайна КСН-6:
 1-неупрочненный нож (наработка 40 га);
 2-упрочненный нож (наработка 170 га);
 А- лазерное модифицирование поверхности

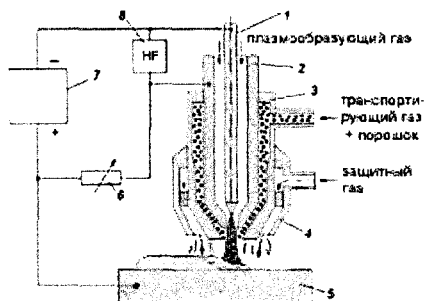


Рис. 14. Схема плазменно-порошковой наплавки:
 1-электрод; 2-плазменное сопло;
 3-фокусирующее сопло; 4-защитное сопло; 5-деталь; 6-балластный реостат;
 7-источник питания; 8-осциллятор

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 0,5мм. Это позволяет существенно сократить расход наплавочных материалов, время наплавки, а также затраты на механическую обработку наплавленных деталей.

Плазменная наплавка была применена для упрочнения лемехов свеклоуборочного комбайна КСН-6 (рис. 15).

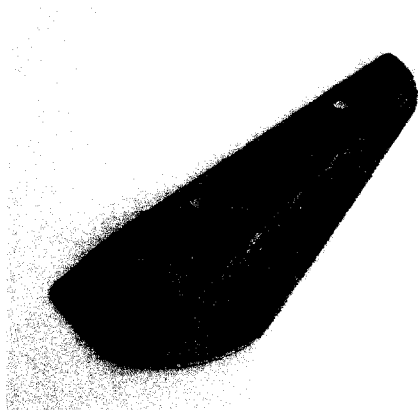


Рис. 15. Лемех свеклоуборочного комбайна КСН-6

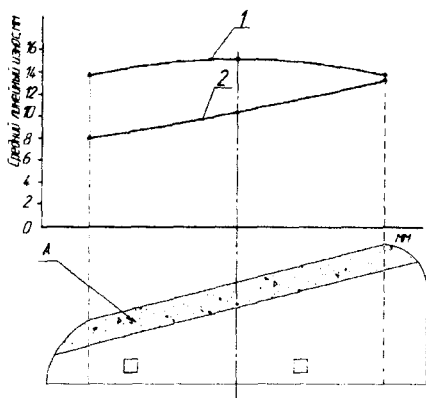


Рис. 16. Износ лемехов свеклоуборочного комбайна КСН-6 (наработка 140 га):
1-неупрочненный лемех; 2-упрочненный лемех;
А- плазменное упрочнение поверхности

Плазменная 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 рис. 16 представлена зависимость среднего линейного износа по длине не упрочненного и упрочненного лемехов при наработке 140га, из которого видно, что лемех, подвергнутый плазменной обработке, имеет почти в 2 раза более высокую износостойкость.

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. Машиностроение. Энциклопедия в 40 томах. Сельскохозяйственные машины и оборудование. Том IV-16/ И.П. Ксенович, Г.П. Варламов, Н.Н. Колчин и др.; Под ред. И.П. Ксеновича. М.: Машиностроение, 2002. – 720 с.
2. Бернштейн Д.Б., Лискин И.В. Лемехи плугов. Анализ конструкций, условий изнашивания и применяемых материалов. Обзорн. информ. – М.: ЦНИИТЭИТракторосельхозмаш, 1992. – 36 с. (сер. 2. Сельскохозяйственные машины и орудия; вып. 3).
3. Ткачев В.Н. Работоспособность деталей машин в условиях абразивного изнашивания. – М.: Машиностроение, 1995. – 336с.
4. Бетень Г.Ф. Восстановление и упрочнение почворезущих элементов диффузионным намораживанием износостойкими сплавами. – Мн.: УО БГАТУ, 2003. – 188 с.
5. Технология, оборудование, автоматизация, неразрушающий контроль процессов нагрева и упрочнения деталей на машиностроительных предприятиях: Сб. науч. трудов. Под ред. П.С. Гурченко. – Мн.: УП «Технопринт», 2002. – 163с.
6. Conit, Rabid and Rabedur Rabewerk – Entwicklungen mit Höchster Materialqualität / Anbau – Drehpflüge/ 1994.№7, с. 26...27.
7. Landmaschinenwelt «97/98». Technische Anbeminen, Vorbehalten, 1997. – 181 с.
8. Технология, оборудование, автоматизация, неразрушающий контроль термических процессов на машиностроительных предприятиях. Сб. трудов под ред. П.С. Гурченко. –Мн.: РДУП «Издательство ОСПИ», 2005.– 104 с.
9. Патент на изобретение № 223370. РФ. Рабочий орган почвообрабатывающих машин (варианты) / Бетень Г.Ф., Лобозов В.П. и др. М.: ФИПС, 2004. – 24 с.
10. Патент на полезную модель. № 1590. РБ. Изделие с самозатачивающимся биметаллическим почворезущим профилем / Бетень Г.Ф., Ивашко В.С. и др. Мн.: НЦИС, 2004.– 3с.