

ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»
Институт механизации и технического сервиса
Кафедра «Эксплуатация и ремонт машин»
Направление подготовки –Агроинженерия
Магистерская программа – Технический сервис в сельском хозяйстве

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

ТЕМА: РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ
ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПЛОСКОРЕЖУЩИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Магистрант _____ Вафин Н.Ф.

Научный руководитель,
профессор _____ Адигамов Н.Р.

Рецензент, профессор _____ Хафизов К.А.

Обсужден на заседании кафедры и допущен к защите
(Протокол № _____ от _____ 2018 г.)

Зав. кафедрой, профессор _____ Адигамов Н.Р.

Казань – 2018 г.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Глава 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	7
1.1. Анализ объекта исследования.....	7
1.1.2. Основные параметры рабочих органов плоскорезов.....	9
1.1.3. Сопrotивление почвы при затуплении лезвия.....	12
1.2. Анализ характера изнашивания рабочих органов	13
1.2.1. Исследования изнашивания монометаллических режущих органов.....	13
1.2.2. Исследования изнашивания самозатачиваемых лезвий.....	18
1.3. Обзор существующих способов восстановления рабочих органов почвообрабатывающих машин.....	20
1.4. Обоснование выбора рационального способа восстановления рабочих органов почвообрабатывающих машин.....	26
1.5. Выводы по главе 1. Цель и задачи исследований.....	28
Глава 2. ТЕОРИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПЛАВКИ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ.....	30
2.1. Краткие сведения об области и условиях применения наплавки.....	30
2.2. Факторы, влияющие на износ деталей почвообрабатывающих машин....	32
2.2.1. Влияние почвенных условий на величину и характер износа деталей..	34
2.2.2. Факторы, влияющие на затупление лезвия.....	35
2.2.3. Влияние скорости на нормальное давление почвы.....	37
2.3. Методика определения деформации зарождения трещины.....	40
2.4. Результаты испытаний определения деформации зарождения трещины.	46
2.5. Выводы по главе 2.....	47
Глава 3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРЕМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	49
3.1. Постановка задачи на многофакторный эксперимент.....	49
3.2. Методики определения параметров оптимизации.....	50
3.3. Определение размеров факторного пространства.....	52
3.4. Построение матрицы эксперимента.....	55

3.5. Результаты эксперимента.....	59
3.5.1. Построение уравнений регрессии.....	59
3.5.2. Расчет функций желательности.....	60
3.5.3. Движение в область оптимума.....	63
3.6. Расчет порошковой проволоки.....	65
3.7. Выводы по главе 3.....	67
Глава 4. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ.....	68
4.1. Оборудование для восстановления.....	68
4.2. Технология упрочнения.....	70
4.3. Результаты испытаний.....	74
4.4. Выводы по главе 4.....	78
Глава 5. ОБОСНОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ.....	80
5.1. Экономическая эффективность восстановления лемеха плоскореза наплавкой твердых сплавов.....	80
5.2. Выводы по главе 5.....	86
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.....	87
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	89
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	94

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. В России, как в большинстве стран мира, при обработке почвы возникают нежелательные, даже опасные явления из которых наиболее существенны - интенсивное разрушение структуры и чрезмерное уплотнение почвы из-за частого прохода тяжелых тракторов и сельхозмашин. При длительном применении традиционной отвальной вспашки снижается плодородие почвы и урожаи сельскохозяйственных культур. В неблагоприятных почвенно-климатических условиях развиваются ветровая и водная эрозия почв. Основная обработка почвы, выполняемая обычными отвальными плугами, является очень энергоемкой и сравнительно малопродуктивной операцией на сельскохозяйственных работах в связи с большими затратами труда, средств, времени и значительным расходом топлива.

Чтобы избежать эти негативные явления, необходимо улучшать процесс обработки почвы, совершенствовать почвообрабатывающие орудия, быстрее внедрять обоснованную почвозащитную и энергосберегающую технологию [1].

Практика показала, что наиболее эффективные результаты получают хозяйства, использующие культиваторы-плоскорезы и культиваторы-глубококорыхлители для обработки почв. Это объясняется тем, что плоскорезящие безотвальные рабочие органы культиваторов подрезают пласт почвы, рыхлят его, но не оборачивают. При этом сохраняется до 90% стерни, и уничтожаются сорняки. Такая обработка предохраняет почву от выдувания, сноса снежного покрова в зимнее время, что создает запас влаги, предохраняет почву от глубокого промерзания и улучшается температурный режим.

Эффективность работы культиваторов-плоскорезов во многом определяется долговечностью рабочих органов, которые эксплуатируются в условиях интенсивного абразивного изнашивания, главными факторами

которого являются нагрузка, острота выступов и размер абразивных частиц, а также соотношение твердости изнашиваемого материала и абразива. В результате износа рабочих органов наступает затупление и укорочение лезвия, что приводит к ухудшению качества обработки почвы и уменьшению процента подрезки сорняков. Резко увеличивается сопротивление движению почвообрабатывающей машины, приводящее к увеличению тянущей мощности и как результат к преждевременному износу тракторов, увеличению расхода ГСМ и сроков обработки почвы.

Объект исследований. Изношенный лемех плоскореза, изготовленная из стали марки 65Г.

Предмет исследований. Технологический процесс восстановления наплавкой твердых сплавов.

Цель исследований. Разработка и обоснование технологии восстановления плоскорезующих рабочих органов сельскохозяйственных машин обеспечивающей повышение износостойкости и самозатачивание лезвий.

Методика исследований. Теоретическое исследование включало обоснование возможности восстановления и упрочнения изношенного лемеха наплавкой твердых сплавов. Разработка регрессионной математической модели для определения оптимальных параметров ведения процесса.

Экспериментальные исследования заключались в выборе различных технологических режимов упрочнения и исследования их механических, химических и эксплуатационных свойств. На основании проведенных исследований разработан технологический процесс восстановления лемеха с расчетами его техноко-экономической оценки при использовании на ремонтных предприятиях АПК.

Научная новизна. Предложенная технология восстановления изношенного лемеха позволяет восстанавливать их с любой степенью износа

и обеспечить ресурс работы деталей не ниже ресурса работы новых, а в некоторых случаях выше в два раза.

Практическая ценность работы. На основании проведенных исследований:

- разработан технологический процесс восстановления лемеха наплавкой твердых сплавов;
- использование предложенной технологий по восстановлению и упрочнению изношенного лемеха позволяет продлить их срок службы до 90%.

На защиту выносятся:

- теоретические положения выбора режимов покрытия для восстановления и упрочнения лемеха плоскореза;
- технологический процесс восстановления лемеха наплавкой твердых сплавов;
- результаты экспериментальных исследований работоспособности восстановленного лемеха
- экономическая эффективность наплавки твердых сплавов.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 5 статей.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложения. Изложена на 90 страницах машинописного текста, содержит 32 рисунков и 22 таблиц.

Глава 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1. Анализ объекта исследования

В сельскохозяйственном производстве используется большое количество почвообрабатывающих машин, таких как: плуги, плоскорезы, лушильники, культиваторы и другие (рис.1.1. и 1.2.).



а



б

Рис. 1.1. Общий вид плугов: а) лемешный; б) чизельный



Рис.1.2. Общий вид культиваторов-плоскорезов

В результате износа некоторых деталей рабочих органов (лемехов, дисковых ножей, культиваторных лап и т.п.) почвообрабатывающие машины изменяют свои основные эффективные показатели. У плуга и плоскорезных орудий увеличивается тяговое сопротивление, они стремятся выглубляться,

ухудшается качество крошения пласта, увеличивается гребнистость поля и неравномерность дна борозды. Поэтому изношенные детали необходимо восстанавливать и упрочнять, в крайних случаях заменять их новыми.

Характер и величина износа деталей имеет существенное значение при выборе способа восстановления и его параметров.

Анализ литературных данных показал, что износы различных конструктивно подобных групп деталей сельскохозяйственных машин колеблются от 0,3 до 10 мм. Наибольшее количество деталей имеет износ до 2 мм. Причем, износ поверхности деталей различных групп составляет: цилиндрической около 40%, плоской поверхности около 12%, конической и сферической около 8%, пазов шлицев 6%, лысок около 5%, резьбы около 10% и т.д [2].

По материалам восстанавливаемые детали сельскохозяйственных машин расположились в следующем порядке: наиболее широкое распространение получила сталь 45, сталь 65, Ст-5, Ст-6, далее идут детали из легированных сталей 45Х, 18ХГТ, 20 ХНЗА, из серых чугунов СЧ 150, СЧ 180, СЧ 210.

По твердости восстанавливаемых стальных деталей, наибольшее распространение имеют поверхности с HRC 30-60.

В зависимости от назначения рабочие органы подразделяют на следующие типы: полольные или плоскорежущие (односторонние или стрельчатые); универсальные (стрельчатые по форме), предназначенные для подрезания сорняков и крошения почвы; рыхлительные - долотообразные, оборотные и копьевидные. На почвах, подверженных ветровой эрозии, применяют культиваторы-плоскорезы-глубокорыхлители, рабочим органом которых служит лемех-плоскорез.

Лапы изготавливают из стали 65Г. Их лезвия закаливают по кромке на ширину 25...30 мм. Основные дефекты лап - износ лезвия и носка, деформация лапы. Изношенные лапы плохо подрезают корни сорняков, не обеспечивают постоянной глубины рыхления почвы.

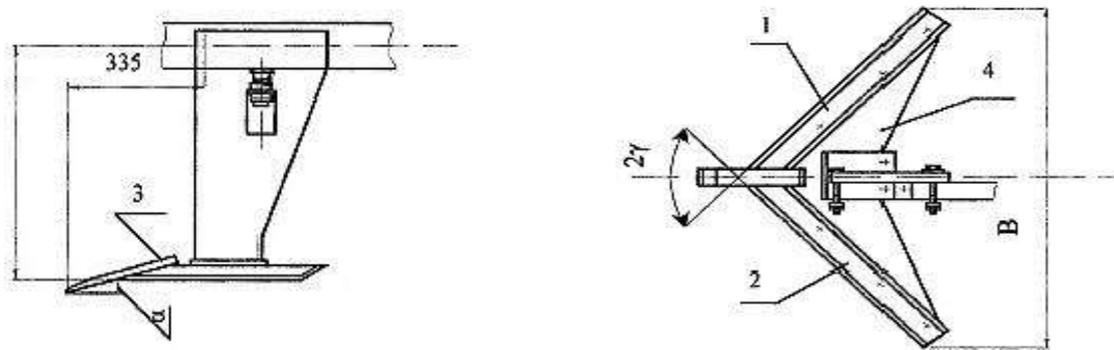
Лезвия лап, затупившиеся до толщины 0,8 мм, затачивают на обдирочно-шлифовальном станке, передвигая лапу от носка к пятке и обратно. Угол заточки режущей кромки 25...35°. Толщина лезвия после заточки на расстоянии 0,5 мм от режущей кромки лапы 0,3...0,5 мм.

При износе носка и лезвия до размеров, менее допустимых, лапу нагревают до температуры 830...900°C (светло-красный цвет) и оттягивают пневматическим молотом или на наковальне вручную. Оттянутую лапу выравнивают гладилкой, затачивают и проверяют по шаблону [3].

1.1.2. Основные параметры рабочих органов плоскорезов

Рабочий орган культиватора-плоскореза (рис. 1.3а) состоит из сменных правого 1, левого 2 лемехов и долота 3. Геометрия лезвия представлена на рисунке (рис. 1.3б) [2]. Режущие органы крепятся к литому или сварному башмаку 4, болтами с потайными головками 5 (рис. 1.3в). После затяжки головки болтов шлифуют заподлицо с рабочей поверхностью.

Башмак плоскореза проектируется по заданной ширине захвата $B=850$, угла раствора лезвий в плане 2γ и угла наклона α лемеха ко дну борозды.



А

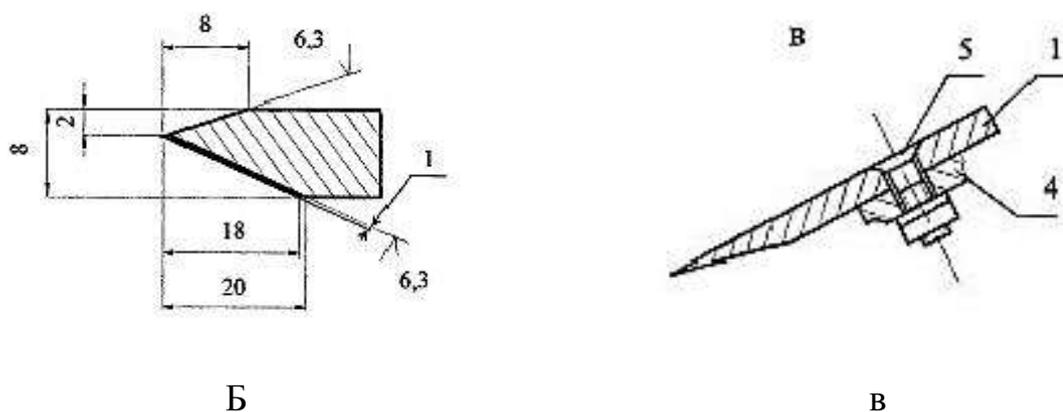


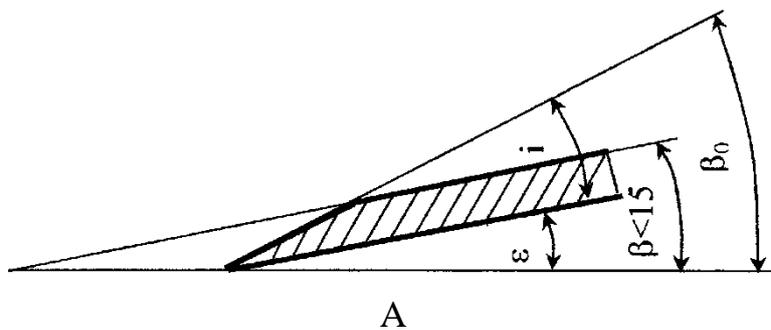
Рис. 1.3. Культиваторная лапа: а) геометрические размеры лапы; б) режущие кромки лезвия; в) способ крепления лемеха к башмаку

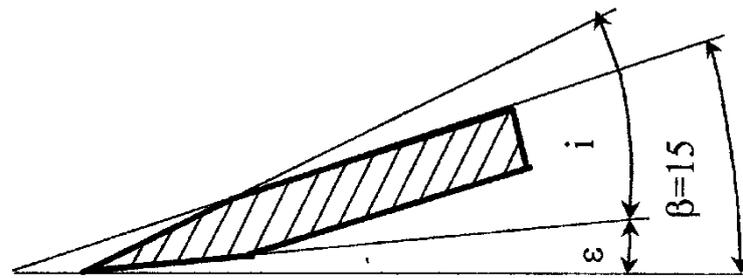
Основные параметры поперечного сечения лезвий культиваторных лап приведены на рис. 1.4 [4].

Угол раствора в плане 2γ для полых лап связан с условиями подрезания корней сорняков. Для предотвращения обволакивания лезвия сорняками следует соблюдать условие $\gamma < \pi/2 - \phi$, где ϕ - угол трения сорняка по лезвию лапы.

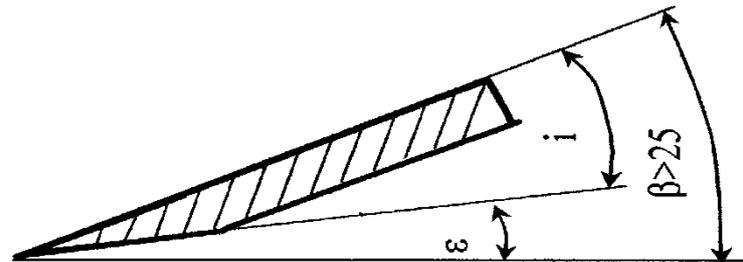
На вязких почвах при угле раствора $60...70^\circ$ уже наблюдается забивание культиваторных лап, поэтому обработки черноземных и близких к ним почв повышенной вязкости принимают $2\gamma = 50...58^\circ$, для почв средней вязкости $2\gamma = 60...78^\circ$ и для песчаных (сыпучих) почв $2\gamma = 70...80^\circ$.

Для культиваторов-плоскорезов $2\gamma = 100...120^\circ$, т.к. они работают на глубине, превышающей глубину залегания основной массы корней. В этом случае лучше сохраняется стерня.





Б



В

Рис. 1.4. Параметры культиваторных лап

Угол резания $\beta_0 = 22...26^\circ$ образуемый верхней фаской лезвия и горизонтальной плоскостью, также влияет на чистоту подрезания сорняков. Угол β_0 складывается из двух углов

$$\beta_0 = i + \varepsilon, \quad (1.1)$$

где: i - угол заострения, обычно равен $12...15^\circ$;

ε - затылочный угол составляет примерно 10° .

Угол крошения β образуется верхней плоскостью полки лапы и горизонталью.

Если угол крошения $\beta > 15^\circ$, то заточка лапы должна быть верхней, при $15^\circ < \beta < 25^\circ$ - двусторонней, при $\beta > 25^\circ$ - нижней.

Для плоскорежущих лап - $\beta = 15...18^\circ$,

для универсальных - $\beta = 28...32^\circ$ [5].

Большие значения β принимаются для лап, работающих на почвах повышенной влажности с целью более интенсивного рыхления почвы [6].

1.1.3. Соппротивление почвы при затуплении лезвия

Лезвие рабочих органов почвообрабатывающих машин в процессе работы затупляется, в результате чего оно сминает дно борозды. Тот факт, что лезвие будет иметь округлую форму, не меняет сути процесса смятия почвы, так как затраты энергии на смятие будут зависеть прежде всего от сминаемого объема почвы. Поэтому в дальнейшем грань АВ будем считать «затылком» затупленного лезвия клина (рис. 1.5.) и прямой линией [4, 7, 8].

Толщина слоя почвы, сминаемого клином

$$h = \ell_{AB} \sin \varepsilon_3. \quad (1.2)$$

Эпюра нормальных давлений почвы на грань АВ будет иметь форму треугольника.

Максимальное значение давления почвы в точке А

$$p = qh, \quad (1.3)$$

где q — коэффициент объемного смятия почвы, Н/см^3 , определяемый опытным путем.

Равнодействующая нормальных элементарных давлений почвы на «затылке» затупленного лезвия клина

$$N_3 = \ell_{AB} pb/2 \quad (1.4)$$

где: b - ширина захвата клина (длина лезвия), см.

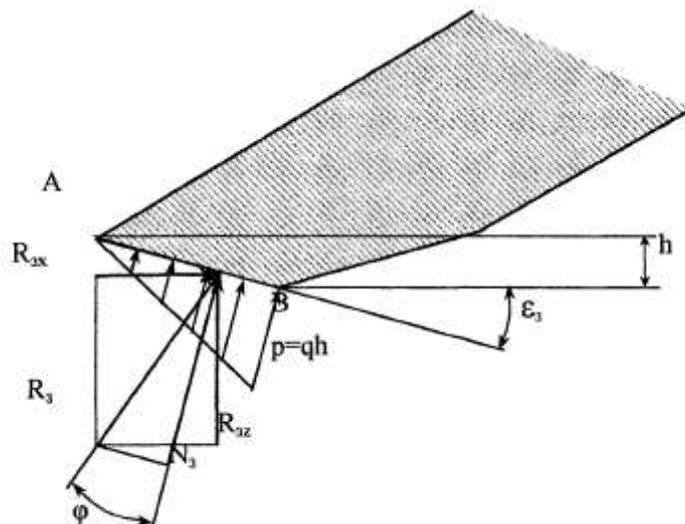


Рис. 1.5. Схема клина с затупленным лезвием

Реакция почвы R_3 отклоняется от равнодействующей на угол трения φ .

Поэтому R_3 можно определить по формуле

$$R_3 = qh^2 b / \sin \varepsilon_3 \cos \varphi \quad (1.5)$$

Вертикальная составляющая реакции почв

$$R_{3Z} = 0,5qh^2 b(\operatorname{ctg} \varepsilon_3 - \operatorname{tg} \varphi) \quad (1.6)$$

Горизонтальная составляющая той же реакции

$$R_3 = 0,5qh^2 b (\operatorname{tg} \varphi \operatorname{ctg} \varepsilon_3 + 1). \quad (1.7)$$

Из сражений (1.6) и (1.7) видно, что как, на величину R_{3Z} которая стремится вытолкнуть клин из почвы, так и на величину тягового сопротивления клина R_{px} , большое влияние оказывает высота затылочной фаски h . Значение этих сил растет пропорционально квадрату высоты фаски. Кроме того, они зависят от твердости почвы, коэффициента трения и ширины захвата клина b .

1.2. Анализ характера изнашивания рабочих органов

1.2.1. Исследования изнашивания монометаллических режущих органов

Основными параметрами формоизменения режущих элементов почвообрабатывающих машин в процессе изнашивания, критические значения которых являются основанием к выбраковке, являются укорочение лезвия и затупление режущей кромки (рис. 1.6.) [3, 7, 8, 9, 10].

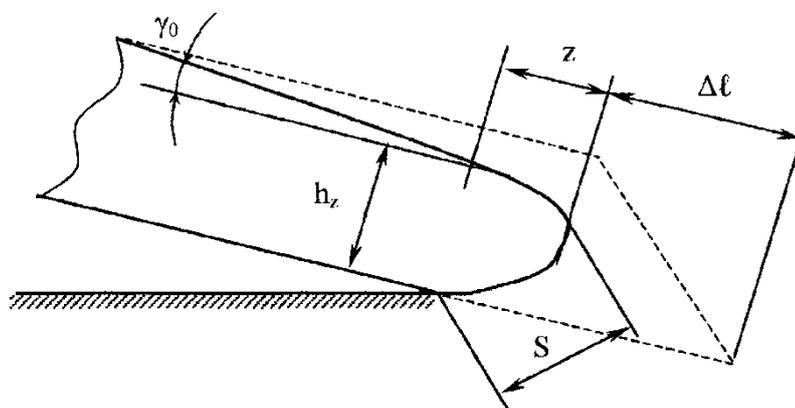


Рис. 1.6. Схема износа однородного лезвия

Укорочение лезвия Δl является легко контролируемым параметром и достаточно объективным критерием оценки износостойкости металла режущего элемента применительно к конкретным условиям эксплуатации (рис. 1.6). Однако в большинстве случаев выбраковка режущих элементов происходит за счет затупления режущей кромки до недопустимых пределов. Контрольными параметрами степени затупления однородных лезвий являются ширина затылочной фаски S и толщина h_z режущей кромки на расстоянии z . Параметром, характеризующим характер износа передней грани лезвия, является угол клина γ_0 [8].

На рис. 1.7. показано изменение интенсивности износа плоскорежущих рабочих органов на различных почвах. Из него следует, что после периода приработки, характеризующегося образованием затылочной фаски, интенсивность укорочения уменьшается и стабилизируется. Качественно характер изменения линейных размеров для широкого класса почв подобен, однако количественные характеристики резко отличаются (рис. 1.8.). Режущая кромка плоскорежущих лап также изнашивается неравномерно. Наиболее активный износ наблюдается в месте перегиба лапы, которое выполняет функцию «носка». Здесь лапа испытывает наибольшую нагрузку [7].

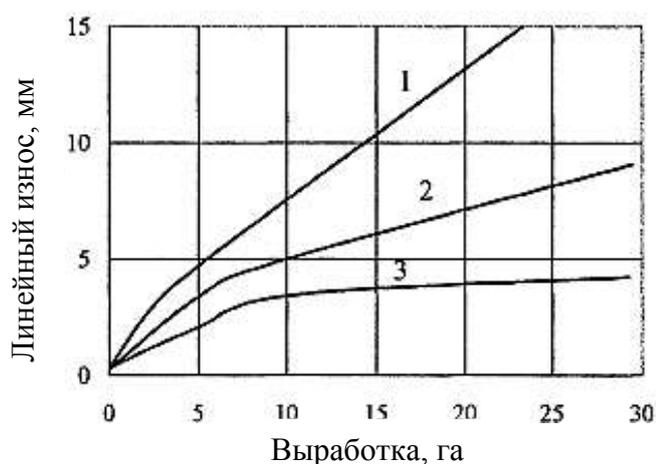


Рис. 1.7. Линейный износ плоскорежущих лап

1 - тяжелые суглинистые почвы; 2 - выщелоченные глинистые черноземы; 3 - подзолистые глинисто иловатые почвы

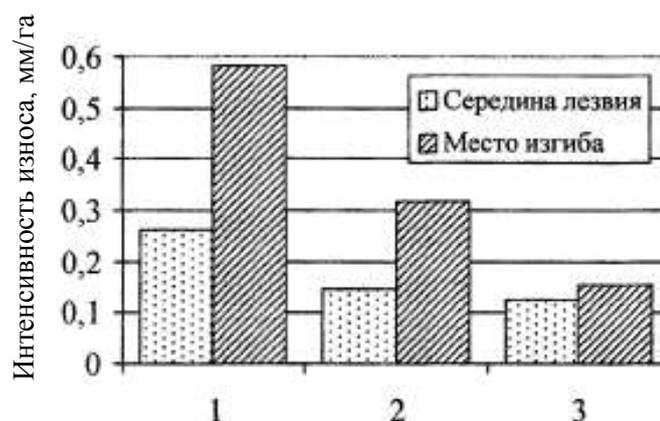


Рис. 1.8. Интенсивность износа плоскорежущих лап

1 - тяжелые суглинистые почвы; 2 - выщелоченные глинистые черноземы;
3 - подзолистые глинисто-иловатые почвы

На рис. 1.9. показана типичная конфигурация изношенного лезвия плоскорежущей лапы в двух сечениях. В месте перегиба лапы (рис. 1.9а), выполняющем роль носка, лезвие имеет более заостренную конфигурацию по сравнению со средней и хвостовой частью и в процессе работы практически самозатачивается. В то же время в средней части и на конце пера лапы кромка лезвия приобретает скругленную форму (рис. 1.9б). Это объясняется повышенным давлением на боковые поверхности лезвия плоскорежущей лапы.



Рис. 1.9. Конфигурация лезвия изношенной плоскорежущей лапы
а) в месте перегиба; б) прямая часть

Самозатачивание носка лезвия, по-видимому, объясняется повышенным давлением на боковые поверхности лезвия при направленном встречном движении абразивной массы. В отличие от носка режущая кромка

пера лапы, расположенная к оси движения под углом 30° , помимо встречного сопротивления испытывает влияние абразивных частиц, скользящих вдоль лезвия. В результате этого, радиус затупления режущей кромки значительно увеличивается. При увеличении угла лапы в плане скольжение вдоль кромки может быть устранено и форма лезвия по всей длине будет одинаковой.

Если сравнить профили лезвий лап культиваторов, изношенных в различных почвенных условиях, то нетрудно заметить, что в большинстве случаев режущая кромка имеет скругленную форму. Это можно объяснить тем, что производят культивацию рыхлой и комковатой почвы на небольшую глубину (10...15 мм). В этих условиях ударение комков почвы о режущую кромку и скольжение ее частиц вдоль лезвия способствуют затуплению режущей кромки.

Характер износа плоскорезов в большой степени зависит от влажности почвы, которая в течение сезона изменяется гораздо больше, чем при обработке. С уменьшением влажности верхняя грань режущей кромки лапы изнашивается активнее. При высокой влажности (22...28%) общий износ лапы значительно снижается, так как почва становится рыхлой. Интенсивность износа лезвия возрастает по мере увеличения плотности почвы. Так, лапа установленная по оси движения колеса культиватора, имеет интенсивность износа примерно в 1,5 раза большую, чем соседняя. При этом затылочная фаска лезвия в результате увеличения плотности выделяется отчетливее.

При работе на легких песчаных и супесчаных почвах режущая кромка лезвия остается более работоспособной, хотя интенсивность линейного износа лезвия может быть довольно высокой.

Затылочная фаска, образующаяся на лезвиях, в зависимости от состава почвы может быть наклонена к горизонту под различными углами. В общем случае угол наклона этой фаски возрастает по мере увеличения содержания в почве физической глины.

Таким образом, основные геометрические параметры изношенного лезвия лемеха - передняя и затылочная фаски, а также радиус затупления изменяются с возрастанием связности почвы.

На износ большое влияние оказывает характер распределения плотности почвы по глубине. При резком изменении плотности по глубине режущая кромка изнашивается в основном снизу, и затылочная фаска располагается параллельно дну борозды. Измерения плотности почвы в различных горизонтах, что твердость нарастает по плавной кривой.

Полевые испытания показали, что твердость материала лезвий, как правило, не оказывает влияния на характер износа. Исключение случай незакаленного лезвия связанные со значительной пластической деформацией режущей кромки. В зоне пластической деформации наблюдаются белые слои толщиной до 0,1 мм [7].

Изучение износа рабочих органов показало, что выбор для них марок сталей в ряде случаев производится без достаточного обоснования. Необоснован также режим термообработки лезвий. Наблюдения показывают, что разница в износостойкости сырых и закаленных на мартенсит рабочих органов при обработке почвы составляет 60...70%. Если рабочие органы в соответствии с техническими условиями подвергаются среднетемпературному отпуску, то разница в износостойкости сырых и закаленных лезвий снижается до 20...25%. Поэтому после первой оттяжки лап культиватора они направляются в дальнейшую эксплуатацию в «сыром» виде.

Таким образом, применяющейся до настоящего времени промышленный метод упрочнения рабочих органов путем объемной закалки не обеспечивает значительного увеличения их срока службы за счет быстрого затупления [7, 11, 12].

1.2.2. Исследования изнашивания самозатачиваемых лезвий

Предотвращение преждевременного затупления режущих кромок возможно при использовании принципа самозатачивания, запатентованного еще в СССР в 1927 году. Его суть заключается в избирательном изнашивании неоднородного по сечению лезвия, при котором сохраняется необходимая форма режущей части. Для реализации принципа самозатачивания I рода упрочняется задняя поверхность лезвия (рис. 1.10а), II рода - передняя (рис. 1.10.б) [4, 7, 13, 14, 15, 16, 17, 18].

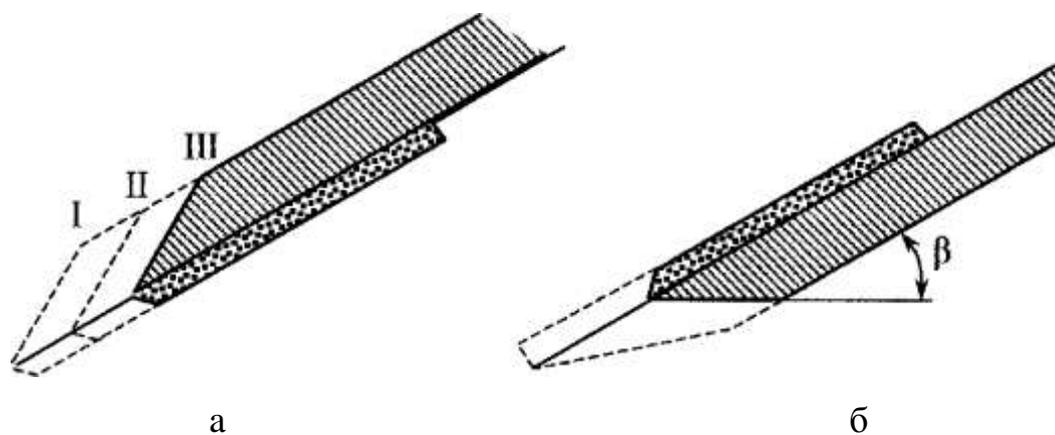


Рис. 1.10. Схема реализации принципа самозатачивания

Самозатачивание: а) I рода; б) II рода

При самозатачивании II рода в лучшем случае может быть получена задняя фаска, параллельная дну борозды. Самозатачивание в ограниченной степени достигается лишь при работе на песчаных и супесчаных почвах при влажности более 10% (рис. 1.10б). Поэтому в дальнейшем самозатачивание II рода рассматриваться не будет [19].

Согласно теории самозатачивания I рода соотношение интенсивностей изнашивания J_0 основного металла (несущего слоя) и упрочненного слоя двухслойного самозатачивающегося лезвия J_T остается постоянным [16, 17].

$$J_0/J_T = K_J > 1 \quad (1.8)$$

Если величина K_J будет иметь оптимальное значение K_J' то контур режущей кромки останется неизменным (сечения I - III на рис. 1.9а).

При $K_J > K_J'$ наступает перезатачивание лезвия с опережающим изнашиванием несущего слоя и высокой вероятностью обламывания оголенного участка упрочняющего слоя длиной l (рис. 1.11а).

Если $K_J < K_J'$, то наступает быстрое затупление лезвия (рис. 1.11б) с последующей выбраковкой, несмотря на значительный объем оставшегося неизношенным упрочняющего слоя.

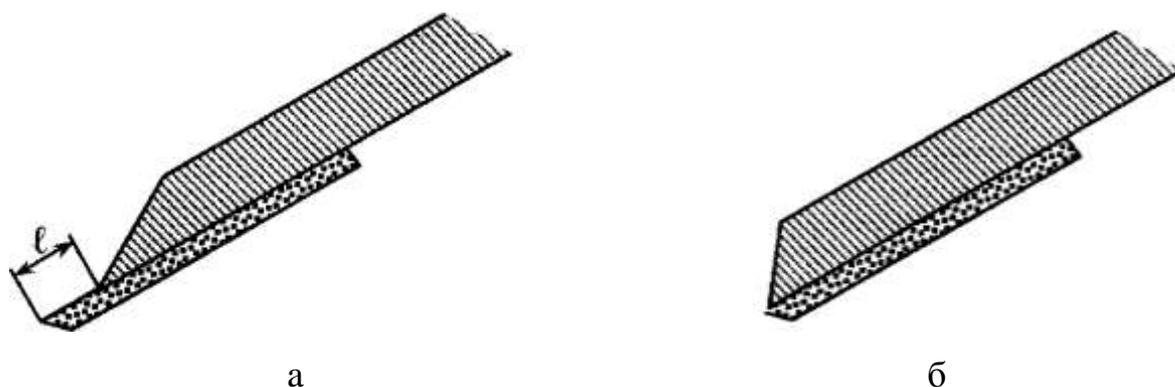


Рис. 1.11. Отклонения от оптимальной формы лезвия
а) перезатачивание при $K_J > K_J'$; б) затупление при $K_J < K_J'$

Получение оптимальных значений K_J возможно путем соответствующего выбора износостойкого металла. В первом приближении рекомендуется соблюдение условия [7]

$$HV_T / HV_0 = K_{HV} = (3...5), \quad (1.9)$$

де: HV_T и HV_0 - твердость по Виккерсу соответственно у твердого слоя и основного металла.

Однако твердость не является однозначным критерием износостойкости металлов. При ужесточении условий абразивного изнашивания (переход от многократного пластического деформирования к микрорезанию, повышение контактных нагрузок и степени закрепленности абразивных частиц, возрастание степени динамичности нагружения) происходит сближение интенсивностей изнашивания различных металлов, а также инверсия в ряду износостойкостей сплавов [3, 7, 8, 15, 19, 20, 21, 22].

Для одних и тех же почв значения K_J могут изменяться в широких пределах за счет изменения влажности, плотности и т.п., что нарушает нормальное течение процесса самозатачивания. На практике нормальное самозатачивание для конкретного материала, используемого для упрочнения режущих органов почвообрабатывающих машин, наблюдается только в узком интервале изменения свойств почв [19].

С учетом вышесказанного был сделан вывод о необходимости расширения диапазона применимости принципа самозатачивания для более широкого класса почв с изменяющимися свойствами. Возможны следующие пути решения этой задачи:

1. Увеличение прочности твердого сплава на изгиб. В этом случае вполне допускается наличие некоторого обнажения твердого сплава l (рис. 1.11б) и расширяется допустимый предел изменения K_J в большую сторону. Опасность перезатачивания уменьшается.

2. Увеличение износостойкости основного металла. В этом случае K_J и, следовательно, опасность перезатачивания уменьшается. Попутно увеличивается износостойкость лезвия в целом.

3. Использование для упрочняющих покрытий сплавов, способных упрочняться при ужесточении условий абразивного изнашивания. В этом случае представляется возможным предотвратить затупление за счет сдерживания падения величины K_J , имеющем место при уменьшении влажности и увеличении связности почвы [19].

1.3. Обзор существующих способов восстановления рабочих органов почвообрабатывающих машин

Для восстановления рабочих органов почвообрабатывающих машин могут быть приняты следующие способы [23, 24, 25]:

- Наплавка порошковыми проволоками;
- Индукционная наплавка в среде защитных газов;

- Восстановление ремонтными вставками;
- Оттяжка лемеха;
- Ручная наплавка;
- Восстановление с помощью накладок;
- Газовая наплавка;
- Наплавка твердых сплавов (самозатачивание).

При восстановлении лемеха наплавкой порошковой проволокой (рис. 1.12.) достигается высокая производительность (до 10...11 кг/ч) при плотности тока 150...170 А/мм. Конструктивно проволока представляет собой металлическую трубку, внутри которой помещен порошок-шихта. Состав шихты определяет ее свойства и назначение. В состав входят газообразующие, шлакообразующие, легирующие, раскисляющие, ионизирующие и другие компоненты. Трубку изготавливают вальцовкой из малоуглеродистой ленты. Наиболее распространены проволоки сплошного (а) и трубчатого сечения(б). Однако при горении дуги шихта отстает в расплавлении от оболочки, что ухудшает защиту и свойства наплавленного металла.

Для того чтобы повысить электропроводность шихты, в нее следует добавлять до 30% железного порошка или разделить сердечник на части металлическими перегородками, электрически связанные с ее оболочкой. В процессе наплавки наиболее часто используют проволоки диаметром 2,0...3,2 мм. В качестве дополнительной защиты служит сварочный углекислый газ. Кроме того, можно применять флюсы АН-8, АН-20 или АН-348А и ОЦС-45.

Проволоку наплавляют с помощью автоматов и шланговых полуавтоматов, применяемых для наплавки под слоем флюса и СО. Источниками питания могут быть сварочные преобразители и выпрямители с жесткой внешней характеристикой [24].



а



б

Рисунок 1.12. Виды порошковых проволок:

а) проволока сплошного сечения; б) проволока трубчатого сечения

При индукционной наплавке (рис. 1.13.) на поверхность детали наносится специальная шихта состоящая из металлического порошка различного состава и флюсов. Деталь помещают в поле индуктора высокочастотной установки. Ток высокой частоты проходящей через индуктор 1, наводит в поверхностном слое детали вихревые токи, в результате чего деталь нагревается. Шихта, расположенная между индуктором и нагреваемой поверхностью детали 4, из-за высокого электрического сопротивления слабо взаимодействует с переменным электромагнитным полем. шихта нагревается путем теплопередачи от поверхности нагреваемой детали. Температура плавления шихты должна быть на $100...150^{\circ}$ ниже температуры плавления металла, а скорость нагрева поверхности детали – выше скорости теплоотвода в глубину детали.

При нагреве флюс расплавляется. Он вступает во взаимодействие с оксидными пленками на поверхности порошка и детали 4, восстанавливает их с образованием чистого металла и шлаков, которые всплывают на поверхность жидкого сплава 6. После прекращения нагрева формируется наплавленный слой и начинается кристаллизация металл, сопровождаемая активными диффузионными процессами [24].

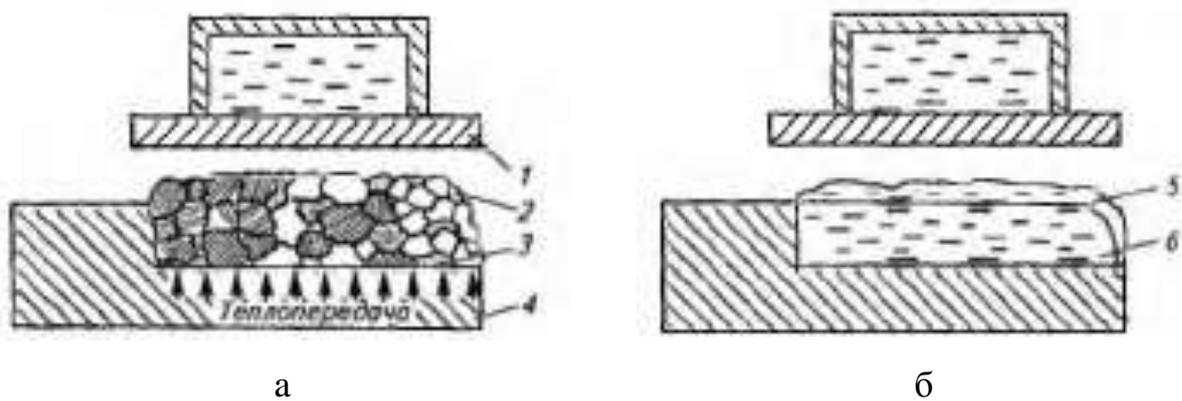


Рис. 1.13. Индукционная наплавка

а) начало процесса; б) окончание процесса; 1 - индуктор ТВЧ; 2 - частицы наплавляемого слоя; 3 - частицы флюса; 4 - деталь; 5 - слой жидкого флюса; 6 - жидкий присадочный сплав.

Ремонт лемехов заменой изношенной части заключается в том, что изношенное лезвие обрубает и к лемеху приваривают вставку из клинового проката ремонтного профиля 30Р, 50Р и 85Р [24]. Существует несколько вариантов восстановления лемехов этим способом:

1. Предусматривает отжиг долотообразного лемеха при температуре 850°C, правку его в горячем состоянии на прессе и одновременно обрубку изношенной части. Лезвие обрубает на расстояние 90мм от спинки лемеха параллельно ей, а носок – под некоторым углом. Затем на прессе вырубает вставку для лезвия из клинового проката. Вставки приваривают к лемеху дуговой сваркой и наплавляют на них с тыльной стороны твердосплавный порошок.

2. Для повышения прочности лемеха предложено изготавливать вставку носка меньшего размера из клинового проката профиля 50Р и обрубать лемех по прямой на всю длину. Это упрощает штампы для правки и обрубки лемеха и процесса его сварки.

Сущность ручной наплавки (рис. 1.14.) заключается в том, что теплом сварочной дуги плавится основной металл и присадочный материал затем происходит кристаллизация расплавленного металла. При ручной дуговой

наплавке плавящимся электродом режим наплавки зависит от толщины металла, подлежащего наплавке, размеров изделия, требования к качеству и внешнему виду. Ручная наплавка может быть выполнена: угольными электродами, газовым пламенем, с применением литых прутков или с вздуванием порошков, в среде защитных газов и электродами с особыми свойствами. Наплаваку ведут на постоянном или переменном токе [23].

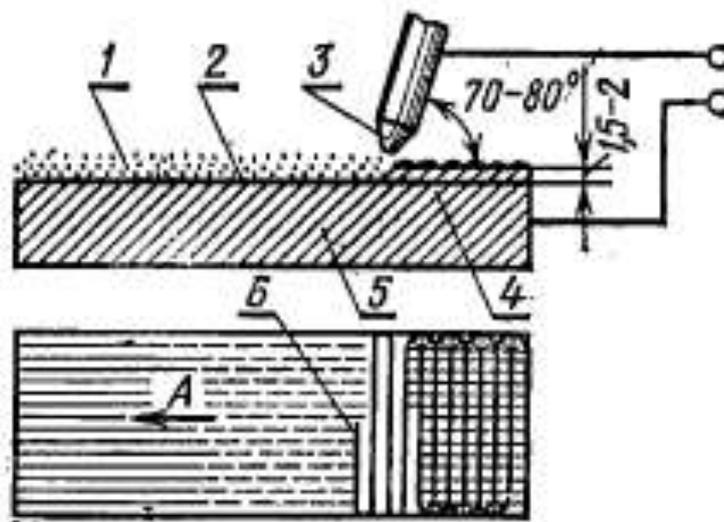


Рис. 1.14. Ручная наплавка

1 - слой порошка твердого сплава толщиной 3...5 мм; 2 - слой прокаленной буры толщиной 0,2...0,3 мм; 3 - углеродный электрод; 4 – слой наплавленного металла; 5 - наплавляемая деталь; А - общее направление наплавки; Б - направление колебательных движений электрода.

ГОСНИТИ разработал и внедрил способ повышения износостойкости лемехов, культиваторных лап и других рабочих органов почвообрабатывающих машин путем наплавки на лезвие твердого сплава Сормайт-1. Такой рабочий орган при работе самозатачивается. Самозатачивание лемехов достигается при определенном соотношении толщины и износостойкости слоя наплавляемого твердого сплава и несущего слоя лезвия лемеха. Процесс изготовления самозатачивающегося лемеха состоит из оттяжки и фрезерования изношенного лезвия, наплавки твердого

сплава, выравнивания и заточки. Самозатачивание считают удовлетворительным, если угол самозатачивания составляет 25-30, а выступание этого слоя $I=(0,3...0,5)h_1$ [25].

Наплавка, при которой источником тепла служит газовое пламя, называется газовой (рис. 1.15.). С помощью специальных горелок можно производить наплавку и напыление покрытий, а также их оплавку после напыления. Газовое пламя получают при сгорании газоподобных веществ в кислороде. Наибольшую температуру обеспечивает сгорание ацетилена – 3150С°. Газовую наплавку осуществляют вручную [23].

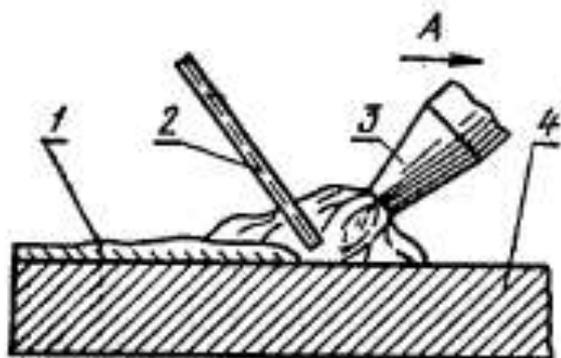


Рис. 1.15. Газовая наплавка

1 – наплавленный слой; 2 - присадочный пруток; 3 - газовая горелка; 4 - наплавляемая деталь; А - направление наплавки.

Восстановление с помощью накладок осуществляется при большом износе носовой части культиваторных лап. Накладки изготавливают кузнечным способом из листовой стали с толщиной 2,5...3,0 мм. Полученную заготовку выгибают по профилю носка и приваривают к ней электродом Э-42 диаметром 3мм. Зачищают сварочный шов на обдирочно-шлифовальном станке. С нижней стороны на выступающую часть накладки наплавляют твердый сплав Сормайт-1 толщиной 0,7...1,3 мм. Затем затачивают с лицевой стороны до обнажения наплавленного слоя [24].

Анализ по технологическому критерию позволил устоять способы применения, которых позволит обеспечить восстановление режущей части рабочих органов почвообрабатывающих машин.

1.4. Обоснование выбора рационального способа восстановления рабочих органов почвообрабатывающих машин

Существуют технические критерии оценивающие каждый способ восстановления, выбранный по технологическому критерию с точки зрения обеспечения качества поверхностей восстановленной детали.

Комплексную качественную оценку дают по значению коэффициента долговечности (K_d), которые определяют по формуле[26]:

$$K_d = K_i \cdot K_v \cdot K_c \cdot K_p, \quad (1.10)$$

где K_i – коэффициент износостойкости,

K_v – коэффициент выносливости,

K_c – коэффициент сцепляемости,

K_p – поправочный коэффициент, учитывающий фактическую работоспособность восстановлений деталей в условиях эксплуатации ($K_p = 0,8 \dots 0,9$).

Рациональным по техническому критерию будут способы, у которых:

$$K_d = \max$$

Технико-экономический критерий связывающий себестоимость восстановления детали с её долговечностью:

$$K_T = C_v / K, \quad (1.11)$$

где: K_T – коэффициент технико-экономической эффективности;

C_v – себестоимость восстановления 1 м^2 (дм^2) изношенной поверхности детали, руб/ м^2 (руб/ дм^2).

$$C_v \cdot K_d \cdot C_n, \quad (1.12)$$

где: C_n – стоимость новой детали, руб.

Эффективным будет считаться тот способ, у которого:

$$K_T = \min$$

Выбор рационального способа восстановления представлен в таблице 1.1. Исходя из технического и технико-экономического критериев выбирают рациональный способ восстановления.

Таблица 1.1

Выбор рационального способа восстановления

№	Возможные способы	K_d	$C_{уд}$ (руб/дм ²)	K_T ($C_{уд}/K_d$)
1.	Наплавка порошковыми проволоками	0,63	559	887
2.	Индукционная наплавка	0,79	283	358
3.	Восстановление ремонтными вставками	-	-	-
4.	Оттяжка лемеха	0,9	71	78
5.	Ручная наплавка	0,49	-	-
6.	Восстановление с помощью накладок	-	-	-
7.	Газовая наплавка	0,49	273	557
8.	Наплавка твердых сплавов	0,79	289	365

Предпочтительным является способ у которого K_T наименьший. В данном примере это будет оттяжка лемеха и ручная наплавка, но так как K_d у ручной наплавки меньше чем у индукционной наплавки, руководствуясь техническим соображениям, окончательно более приемлемым в качестве рационального способа восстановления дефекта будет индукционная наплавка твердых сплавов. Так как при наплавке твердого сплава получаем самозатачивающиеся лемеха.

Способ повышения износостойкости лемехов, культиваторных лап и других рабочих органов почвообрабатывающих машин путем наплавки на лезвие твердого сплава Сормайт-1. Такой рабочий орган при работе самозатачивается. Самозатачивание лемехов достигается при определенном соотношении толщины и износостойкости слоя наплавляемого твердого сплава и несущего слоя лезвия лемеха. Процесс изготовления самозатачивающегося лемеха состоит из оттяжки и фрезерования изношенного лезвия, наплавки твердого сплава, выравнивания и заточки. Самозатачивание считают удовлетворительным, если угол самозатачивания составляет 25...30, а выступание этого слоя $I=(0,3...0,5)h_1$ [25].

Приведенные методы восстановления рабочих органов почвообрабатывающих машин имеют свои достоинства и недостатки. Упрочнение же поверхности рабочих органов плоскорезов должно быть перспективным в отношении промышленного использования процесса.

Таким образом, исследования процесса наплавки твердого сплава деталей сельскохозяйственных машин, работающих в особо тяжелых условиях, представляет практический и теоретический интерес для разработки технологии восстановления, обеспечивающей повышение их долговечности [27].

1.5. Выводы по главе 1. Цель и задачи исследований

На основании литературных данных нами было установлено:

1. Применение при основной обработке почвы культиваторов-плоскорезов и культиваторов-глубокорыхлителей при переходе на энергосберегающую технологию обработки почвы в настоящее время актуально.

2. Что плоскорезующие безотвальные рабочие органы культиваторов-плоскорезов подрезают пласт почвы, рыхлят его, но не оборачивают. При этом сохраняется до 90% стерни, и уничтожаются сорняки.

3. Наиболее эффективным методом восстановления является наплавка твердого сплава.

4. Упрочнение одной из рабочих поверхностей лезвия тонким слоем твердого сплава теоретически позволяет получить эффект самозатачивания, заключающегося в избирательном изнашивании неоднородного по сечению лезвия, при котором сохраняется требуемая степень остроты режущей части.

5. На практике нормальное самозатачивание наблюдается только в узком интервале изменения свойств почв.

Целью диссертационной работы является разработка технологии упрочнения режущих органов почвообрабатывающих машин, обеспечивающей повышение износостойкости и самозатачивание лезвий.

В соответствии с поставленной целью были определены следующие задачи:

1. Разработка методики и проведение испытаний на технологические свойства основного металла и упрочняющего покрытия.

2. Разработка технологии восстановления изношенных плоскорежущих рабочих органов.

3. Определить экономическую эффективность разработанной технологии.

Глава 2. ТЕОРИТИЧЕСКИЕ ИСЛЕДОВАНИЯ НАПЛАВКИ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

2.1. Краткие сведения об области и условиях применения наплавки

Процесс наплавки является основой для изготовления и восстановления биметаллических изделий. В зависимости от того, какая форма изделия, какие берутся исходные материалы, какие условия работы, наконец, масса изделия, предполагают различные подходы в выборе технологии наплавки. Если невозможна механизация процесса сварки (наплавки), то лучше всего остановиться на наплавке покрытыми электродами. Глубина проплавления основного металла должна быть минимальной. Это достигается путем наклона электрода в сторону, обратную ходу наплавки. Диаметр электрода должен быть в пределах 2...6 мм. Ток постоянный, обратной полярности (на электроде «плюс»). Сила тока - от 80 до 300 А [28].

Цель наплавки - упрочнение и восстановление деталей посредством нанесения на поверхность покрытий, обладающих высокой износостойкостью (кислотостойкостью, термостойкостью). В данном разделе речь пойдет о нанесении защитного покрытия именно с помощью сварки.

Наплавка требует определенных навыков в работе. При минимальном токе и напряжении, чтобы не увеличивать долю основного металла в наплавленном, надо оплавить оба компонента. Состав металла будет определять тип электрода, а толщина и форма - диаметр электрода. В предлагаемой ниже таблице даны основные типы и марки покрытых электродов для наплавки.

Напряжение дуги определяет форму наплавленного валика; при его повышении увеличивается ширина и уменьшается высота валика, возрастает длина дуги и окисляемость легирующих примесей, особенно углерода. В связи с этим стремятся к минимальному напряжению, которое должно

согласовываться с током дуги. Обычно наплавку ведут при напряжении дуги 28-32В и силе тока 300-450 А электродной проволокой диаметром 3-4 мм.

Техника наплавки предусматривает различные приемы ведения работ при наплавке тел вращения, плоских поверхностей и деталей сложной формы. Цель их одна - получение качественного наплавленного слоя заданных свойств и минимальная деформация изделия [29].

Плоские детали целесообразно наплавливать электродными лентами с минимальным проплавлением основного металла.

Применяемые в качестве наплавочных материалов хромоникелевые аустенитные стали обладают высокими антикоррозионными свойствами. Если в эту сталь добавить марганец, возрастет ее вязкость, что важно для процесса наплавки.

Когда хромоникелевые аустенитные стали используются для наплавки, то использовать необходимо покрытые электроды однородного с этой сталью состава. Сама наплавка ведется в среде газа аргона или под флюсом. Подогревать хромоникелевые стали не требуется.

Хромистые стали, обладающие высокой стойкостью к коррозии и прочностью при повышенных температурах, применяют для наплавки уплотнительных поверхностей задвижек для пара и воды, плунжеров гидропрессов, штампов и других деталей. Наплавку производят самозащитной порошковой проволокой ПП-АН106, наплавочной проволокой Нп-30Х13 и Нп-40Х13, сварочной проволокой Св-10Х17Т, порошковой проволокой ПП-АН103 и ПП-АН104.

Наплавку хромистых сталей надо вести очень короткой дугой. Рекомендуемое при этом напряжение – 24...26 В. В случае с хромистыми сталями - предварительный подогрев до температуры 200-250°С. Для наплавки применяются также хромомолибденовые и хромовольфрамовые стали, обладающие высокой стойкостью к термическому изнашиванию. Наплавка производится, порошковыми проволоками ПП-25Х5ФМС, ПП-3Х2В8 и ПП-АН132 спеченной лентой ЛС-5Х5В3ФС, покрытыми

электродами ВСН-6. Для предупреждения трещин наплавку ведут при температуре детали 350-400°С с последующим замедленным охлаждением.

Для наплавки применяются и высокохромистые чугуны, главным образом там, где требуется защита деталей от абразивного изнашивания. Наплавки осуществляются покрытыми электродами, применяя порошковую проволоку ПП-АН101 и ленту ПЛ-АН101 [29, 30].

Продолжительность срока службы восстановленных с помощью твердых сплавов деталей увеличивается по сравнению с новыми минимум в три раза. Стоимость же восстановления не превышает 25-30% от стоимости новой детали.

2.2. Факторы, влияющие на износ деталей почвообрабатывающих машин

В процессе эксплуатации почвообрабатывающих орудий происходит изнашивание их рабочих органов. В результате износа деталей происходит изменение их размеров и формы, нарушение положения относительно друг друга или к базисным поверхностям, изменение структуры шероховатости, механических свойств и износостойкости, образование задиров, рисок, царапин, трещин, наклепа и других дефектов. Появление таких дефектов является причиной ухудшения технического состояния агрегата в целом. Следствие этого – полная или частичная потеря работоспособности.

Скорость изнашивания деталей зависит от многих факторов, которые приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1



2.2.1. Влияние почвенных условий на величину и характер износа деталей

Механический состав и состояние почвы влияют не только на интенсивность износа, но и на его характер. Особенно это видно на примере износа лемехов, лап культиваторов и дисковых борон. На тяжелых суглинистых и глинистых почвах лезвие и полевой обрез лемеха затупляются и принимают овальную форму. На песчаных и супесчаных почвах они изнашиваются достаточно интенсивно как по толщине, так и по ширине. Лезвие при этом сохраняет свою остроту, но на тыльной стороне его создается резко выраженная затылочная фаска, на лицевой - глубокая лучевидная канавка; носок по профилю закругляется.

Горячкин В.П. износ лицевой поверхности лемеха и отвала с образованием сквозного протирания в верхней части носка и груди объяснял возникновением в этих местах больших давлений [31]. Другие исследователи объясняют тем, что подрезаемый слой почвы значительную часть пути скольжения не деформируется и сохраняет свою форму. При этом он опирается нижней гранью на рабочую поверхность и в местах контактирования создает высокие давления. Считают, что протирание лемеха происходит вследствие более высокого коэффициента трения нормализованной стали, из которой изготовлена спинка его. Этот довод не дает объяснения, почему одновременно с лемехом протирается прилегающая часть отвала, поверхность которого закаливается до HRC-48.

Многочисленными опытами установлено большое влияние на величину и характер износа имеет влажность почвы. Например, на суглинистом черноземе влажностью 10% износ происходит примерно в 6 раз быстрее, чем при влажности 26%. По данным Е.П. Огрызкова, зависимость между интенсивностью износа лемеха по ширине и абсолютной влажностью для диапазона влажностей 8...28% имеет гиперболический характер [32]:

$$\Delta l = A/B_n - H, \quad (2.1)$$

где: Δl – интенсивность износа лемеха по ширине; B_n – абсолютная влажность; А и Н – постоянные коэффициенты; для лемехов с заводской термообработкой они равны 18 и 0,54.

Некоторые исследователи считают, что при безотвальной обработке относительно сухой почвы у лемехов наиболее интенсивно изнашивается лезвие с тыльной стороны, кромка его при этом остается острой. Другие отмечают, что при обработке супесчано-подзолистых почв влажностью 2,8...4% лемеха не затачиваются, а наоборот, теряют свою режущую способность. После непродолжительной работы на таких почвах их необходимо оттягивать. Совершенно иной характер износа наблюдается на этих же почвах при влажности 9,4...12,2%. Режущая способность лемеха в этом случае сохраняется в течение всего периода работы.

Опыты показывают, что до влажности 7...8% самозатачивания лезвия не наблюдается, а интенсивность изнашивания незначительная. При влажности 10...12% и выше происходит интенсивный износ вплоть до протирания носовой части лемеха, а лезвие сохраняет остроту. В связи с наличием в почве влаги, в которой растворены различные соли и газы, можно ожидать проявления коррозионного износа. Влияние химического воздействия почвы на интенсивность изнашивания до настоящего времени еще не изучалось.

2.2.2. Факторы, влияющие на затупление лезвия

Обычно тяговое сопротивление рабочего органа плоскореза исследуется в условиях, когда лезвие лемеха имеет номинальные геометрические размеры. В действительности, такое состояние лезвия сохраняется незначительное время, составляющее очень малую долю общего срока эксплуатации. В основном лемех работает в затупленном состоянии, причем степень затупления зависит как от геометрических форм лемеха, так и от физико-химических свойств и состояния почвы.

Рассмотрим некоторые особенности перемещения лезвия в почве. Если лезвие острое, т.е. радиус сопряжения пересекающихся плоскостей клина ничтожно мал, оно при встрече с твердыми частицами почвы испытывает очень большое давление. Под действием этого давления происходит смятие кромки и ее округление. Увеличение радиуса округления продолжается до тех пор, пока этот процесс не стабилизируется, что зависит от свойств почвы. Если представить, что затупленное лезвие в сечении представляет дугу окружности, которая при своем перемещении соприкасается с какой-нибудь частицей почвы в точке A (рис 2.1), то возможность скольжения этой частицы к поверхности лезвия определяется условием:

$$\delta < 90 - \varphi, \quad (2.2)$$

где: δ – угол, образованный плоскостью симметрии лезвия и плоскостью, касательной к нему в рассматриваемой точке; φ – угол трения почвы о сталь.

При $\delta > 90 - \varphi$, частицы не могут скользить по поверхности лезвия и будут вдавливаться в почву. В результате создается зона смятия, определяемая двойным углом:

$$AA' = 2r \cos \delta, \quad (2.3)$$

где r – приведенный радиус окружности округления лезвия.

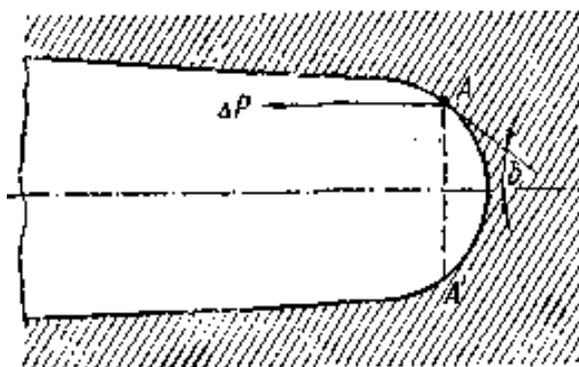


Рис. 2.1. Форма и параметры режущего лезвия

Таким образом, зона смятия зависит от толщины лезвия и величины трения почвы о сталь. Для одного и того же лезвия в почвах, обладающих большей величиной трения, будут создаваться большие зоны смятия. С другой стороны, при перемещении такого лезвия происходит смятие почвы, разрушение связей между ее частицами и относительное перемещение их, т.е. сопротивление почвы характеризуется силами внутреннего трения. Таким образом, трением почвы о сталь и внутренним трением в почве определяется тяговое сопротивление затупленного лезвия [31].

Асимметричное расположение лемеха плоскореза обуславливает некоторые особенности его изнашивания. Снизу лезвия образуется так называемая затылочная фаска. Наклон этой фаски зависит от физико-механических свойств почв. Для песчаных почв он приближается к нулю, для глинистых – достигает 35° .

Влияние угла наклона затылочной фаски на тяговое сопротивление весьма значительно, однако его трудно отделить от влияния округления лезвия, поэтому их обычно рассматривают совместно.

2.2.3. Влияние скорости на нормальное давление почвы

Неравномерный износ рабочих органов почвообрабатывающих машин обусловлен, прежде всего разным удельным давлением почвы на поверхность рабочего органа в различных ее точках, а также зависит от скорости скольжения и ускорения контактирующих частиц.

Установлено, что при плоскорезной обработке супесчаной почвы влажностью 10...14% удельное давление на рабочей поверхности лемеха распределяется неравномерно и составляет в зоне носка около 60 колебаний на 1 м пути. Максимальные значения давления в нижней части зоны носка при скорости 1,4 м/с на глубине 22 см достигают 16...18 кг/см². Среднее давление 4,34 кг/см². Наибольшее давление испытывает носовая часть лемеха. Средние давления в зоне носка в 4,6...12,8 раза больше среднего

давления в его центральной части. Наиболее чувствительна к изменению режима пахоты зона носка лемеха [33].

Увеличение скорости или глубины обработки приводит к резкому росту давления в нижней части носка лемеха и перераспределению его в других местах. Местам наибольшего давления соответствует наибольший износ.

Таблица 2.2

Удельные давления на лемехе при различной глубине и скорости работы

Скорость, м/с	Глубина обработки, см	Среднее удельное давление, кг/см ²		p _н p _{ср.п}	Общая сила тяги, кг
		в зоне носка	на пятке и средней части лемеха p _{ср.п}		
0,8	22	1,16	0,20	5,9	2190
1,1	22	1,54	0,24	6,4	2100
1,4	22	1,77	0,14	12,8	2170
0,8	17	0,84	0,18	4,6	1830
0,8	27	1,49	0,15	6,9	3120

Средние удельные давления почвы при различных режимах обработки почвы приведены в таблице 2.2.

Между удельным давлением и величиной износа в отдельных точках лемеха отсутствует прямая пропорциональность.

Например, в носовой части давление в 1,5, а износы в 4...5 раз больше, чем на пятке. Объясняется это тем, что в точках максимального давления и сравнительно небольшого износа скорость скольжения почвы невелика.

Здесь происходит деформационное скольжение, при котором скорость относительного перемещения частиц почвы гораздо меньше, чем при кинематическом.

В качестве датчиков нормального давления применяли специальные месдозы, на внутреннюю поверхность которых наклеивали тензодатчики. Для регистрации результатов измерений использовали многоканальный шлейфный осциллограф с усилителем.

Удельные давления почвы при плоскорезной обработке измеряли на лемехе и стойке. Месдозы на этих деталях монтировали в специально просверленных гнездах и тщательно подгоняли заподлицо с рабочей поверхностью [34].

На лемехе удельное давление измеряли в 13 точках. Гнезда располагались рядами, совпадающими с направлением движения контактируемых с лемехом абразивных частиц почвы. Расстояние между центрами гнезд под месдозы по направлению движения абразивных частиц 40, а между рядами 135 мм (рис. 2.2).

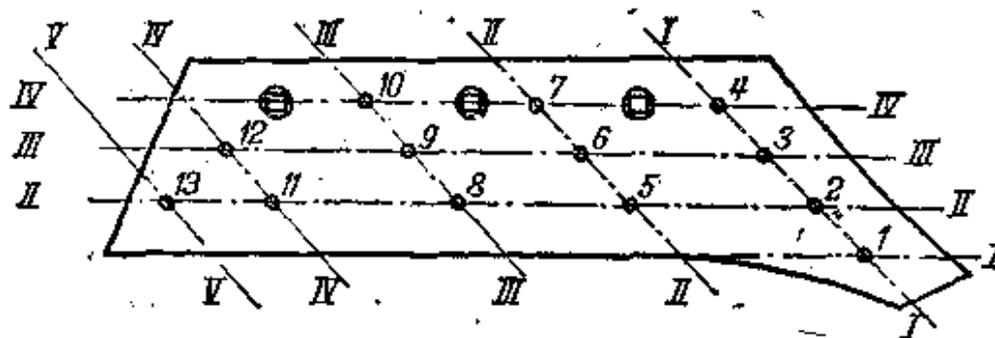


Рис. 2.2. Места замера давлений на лемехе

Наибольшее давление испытывает зона лемеха в точках 1, 2, 3 и 4 (см. рис. 2.2.). В средней части лемеха (точки 5–10) и на пятке (точки 11–13) давление заметно падает. Так, при обработке песчаной задернелой почвы на глубину 18–20 см и скорости движения в зоне носка 1,39 км/ч давление в средней части и на пятке соответственно равно 0,29 и 0,23 кг/см², т.е. в зоне

носки оно больше, чем в средней части, в 4,75 раза и в 6 раз больше, чем на пятке.

Изменение режима обработки приводит к изменению среднего удельного давления почвы на лемех. Например, с увеличением скорости движения культиватора-плоскореза от 0,46 до 3,2 м/с, т.е. в 6,95 раза, на песчаной почве на глубине обработки 18–20 см среднее удельное давление возрастает в носовой части в 1,49, в средней части и на носке в 1,3 раза.

С увеличением скорости движения среднее удельное давление в отдельных точках растет не пропорционально скорости. Более интенсивный рост давлений наблюдается у носовой части лемеха, в средней части и в некоторых точках пятки – незначительное увеличение и даже уменьшение удельного давления.

Максимальные давления в отдельных точках лемеха достигают величин, превышающих средние удельные давления в 5–6 раз. Например, в точке 2 (рис. 2.2) среднее удельное давление на песчаной почве при глубине обработки 18–20 см и скорости движения 1,58 м/с составляет 1,51, а максимальное – 1,84 кг/см². Увеличение скорости движения приводит к росту пиковых давлений.

2.3. Методика определения деформации зарождения трещины

Одним из наиболее важных критериев работоспособности износостойких наплавленных покрытий является напряжение зарождения трещины. Оценка склонности к образованию трещин, как от остаточных напряжений, так и от внешних нагрузок является исходным моментом проектирования рациональной технологии получения наплавленных покрытий и позволяет предсказать их поведение, как в процессе изготовления, так и при эксплуатации, и значительно ускоряет поиски оптимального решения.

В качестве критерия стойкости к зарождению трещины наиболее предпочтительны истинное критическое напряжение или деформация зарождения трещины. Этот критерии являются абсолютными, так как позволяют сравнивать и контролировать результаты, полученные ранее по другим методикам.

При определении механических свойств металлов при динамических нагрузках и, в частности, деформации зарождения трещины большое распространение получили испытания на ударный изгиб с осциллографированием сигнала тензодатчика, наклеенного на бойке ударной машины [35], при которых представляется возможным четко оценить критическую нагрузку на бойке в момент зарождения трещины по характерному излому на осциллограмме. По величине критической нагрузки на бойке рассчитывают напряжения, разрушающие образец. Эта методика дает удовлетворительно воспроизводимые результаты образцов стандартного размера из однородного материала. Для неоднородных образцов, полученных наплавкой, характерны чувствительные колебания геометрических размеров и химсостава наплавленных участков. Это значительно увеличивает разброс экспериментальных данных при косвенном определении разрушающих напряжений. Особо следует отметить наложение на кривую нагрузки на бойке колебаний, вызванных волновыми процессами в системе боек-образец [35]. Там же отмечается, что осциллограмма нагрузки на образце таких колебаний не имеет.

От недостатков, присущих косвенным методам испытаний с осциллографированием, свободна методика [36] прямого измерения деформаций зарождения трещины в наплавленных образцах с помощью тензодатчиков, наклеенных на наплавленный металл в зоне зарождения трещины. Образцы испытываются на консольный изгиб путем нанесения однократного удара падающим грузом. Во всех случаях энергия удара была достаточная для зарождения трещины с первого удара. Схема испытаний приведена на рис. 2.3.

На заготовку 1 наплавляется слой износостойкого металла 2. Тензодатчик 3 ориентируется вдоль линии действия нормальных растягивающих напряжений изгиба и наклеивается на наплавленный слой в районе вероятного зарождения трещины. Образец устанавливается в зажимное приспособление 4, и по свободному концу образца наносится удар падающим грузом P . Энергия удара достаточна для зарождения трещины. Сигнал с тензодатчика усиливается через усилитель и записывается на экране запоминающего осциллографа.

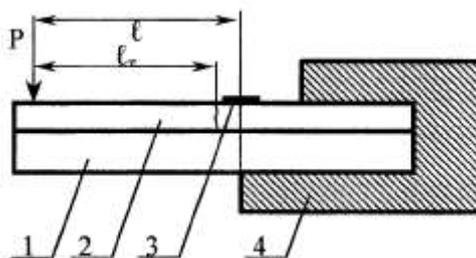


Рис. 2.3. Схема испытаний [36]

Испытания сплавов-представителей по методике [36] проводились в следующей последовательности.

1. На заготовку из стали 65Г наплавлялся исследуемый сплав. Далее в месте наклейки тензодатчика наплавленный металл шлифовался. Фольговый тензодатчик с базой 10 мм наклеивался клеем «Циакрин» по общепринятой технологии. Схема наплавки валика и наклейки тензодатчика приведена на рис. 2.4.

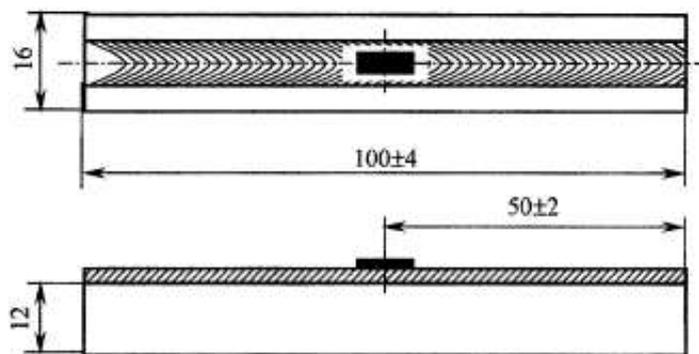


Рис. 2.4. Образец для ударных испытаний

2. Образец устанавливался в зажимное приспособление, а испытуемый тензодатчик с сопротивлением R_D подключается к тензометрическому мосту в соответствии с блок-схемой, приведенной на рис. 2.5. Далее проводилась балансировка тензометрического моста. Питание датчиков и усиление сигнала осуществлялось с помощью тензоусилителя марки "Топаз 4-01". Питание тензоусилителя осуществлялось специализированным источником питания марки "Агат" со стабилизированным напряжением и пониженным коэффициентом пульсаций.

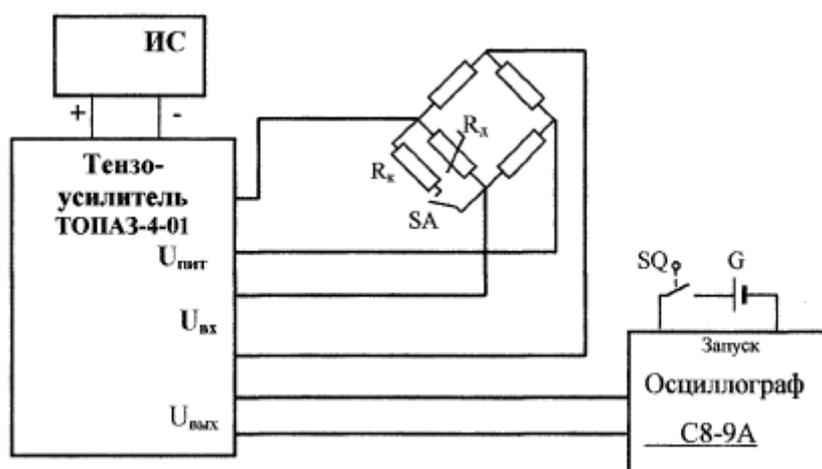


Рис. 2.5. Блок-схема установки

3. Определялось напряжение контрольного разбаланса измерительного тракта U_K путем включения сопротивления контрольного разбаланса R_K параллельно испытуемому датчику с сопротивлением R_D тумблером SA.

4. По свободному концу образца наносился удар падающим грузом с энергией 29,4 Дж, достаточной для зарождения трещины во всех вариантах испытаний. В качестве устройства для нанесения удара использовалась машина для ударных испытаний У-1-АС конструкции МИНХ и ГП им. И.М. Губкина. Выходное напряжение $U_{ВЫХ}$, пропорциональное деформации тензодатчика, подавалось на вход электроннолучевого запоминающего осциллографа марки С8-9А. Запуск горизонтальной развертки осциллографа

осуществлялся внешним сигналом от гальванического элемента G, включаемого конечным выключателем SQ за 10-20 мс до начала удара. Типичные осциллограммы удара без разрушения приведены на рис. 2.6а, а с разрушением - на рис. 2.6 б,в. На рис. 2.6б кривая прерывается вследствие резкого ухода луча осциллографа за пределы экрана при разрыве тензодатчика. Если тензодатчик не разрушается, то осциллограмма принимает вид, изображенный на рис.2.6в.

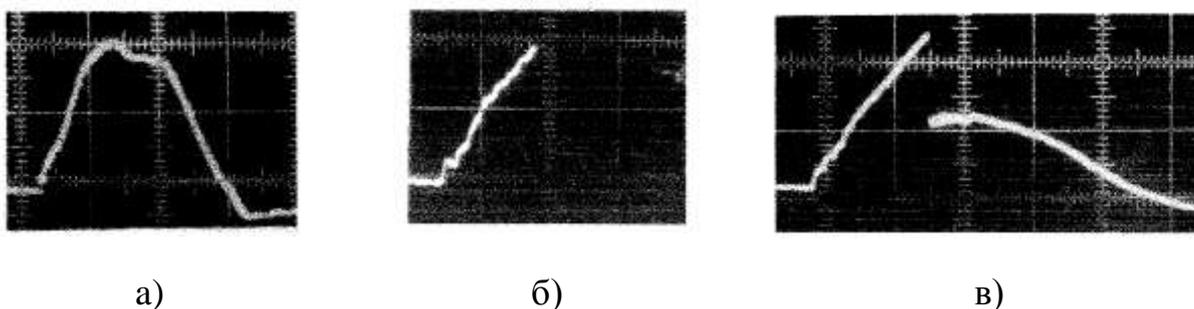


Рис. 2.6. Осциллограммы удара ($\mu_v=100$ мВ/см, $\mu_t=5$ мс/см).

а) без разрушения; б, в) с разрушением.

5. Вычисляется деформация зарождения трещины по формуле:

$$\varepsilon_3 = \frac{U_3 R_D}{U_K (R_K + R_D) * K} \quad (2.4)$$

где: U_3 - ордината точки разрыва на осциллограмме, мв;

U_K - напряжение контрольного разбаланса, мв;

K - паспортный коэффициент тензочувствительности тензодатчика.

Если фронт трещины не совпадает с центром решетки тензодатчика, то в значение U_3 необходимо вводить поправочный коэффициент l_T/l , где l - плечо силы удара (рис.2.6), l_T - расстояние от точки удара до фронта трещины. На практике l_T отличается от l не более чем на ± 4 мм.

Нами был составлен испытательный ряд из сплавов-представителей различных типов и структурных классов представленный в таблице. Там же дано обоснование сделанного выбора, а также характеристики выбранных сплавов.

Таблица 2.3.

Испытательный ряд из сплавов-представителей

№	Тип	Класс микроструктуры	Марка сплава	Тип металла	Средняя твердость, HRC	Способ нанесения
1	2	3	4	5	6	7
1	Белые чугуны	Заэвтектический с карбидным упрочнением	Порошок гранулированный ПГ-С1	300Х25Н4С4	55	Наплавка ТВЧ
2		Заэвтектический с боридным упрочнением	ПП АН-170	80Х20Р3Т	58	Механиз. дуговая наплавка МДН
3		Доэвтектический с метастабильным аустенитом	ПП-200Х20Г5Т	200Х20Г5Т	55	МДН
4		Близкий к эвтектическому с карбоборидным упрочнением	ППАН-125	200Х15С1ГРТ	54	МДН
5		Заэвтектический	Т-620	350Х25Г2Р2Т2	58	РДН
6	Стали	Ледебуритный	ПП-АН-104	Х12Ф1	45	МДН
7		Заэвтектоидный	ППАН-140	60Х8С2РТ	43	МДН
8		Доэвтектоидный	ЭН-60М	70Х3СМТ	45	РДН
9		Метастабильный аустенит с карбоборидным упрочнением	ВСН/О3Н-7	100Х6Г6С3ФАР	54	РДН
10	Основной металл	Доэвтектоидная	Ст3 (эталон)	30	НУ 126	
11		Близкая к эвтектоидной	Сталь 65 Г	65Г	25	
12					34	
13					48	

2.4. Результаты испытаний определения деформации зарождения трещины

Результаты испытаний сплавов-представителей приведены на рис. 2.7.

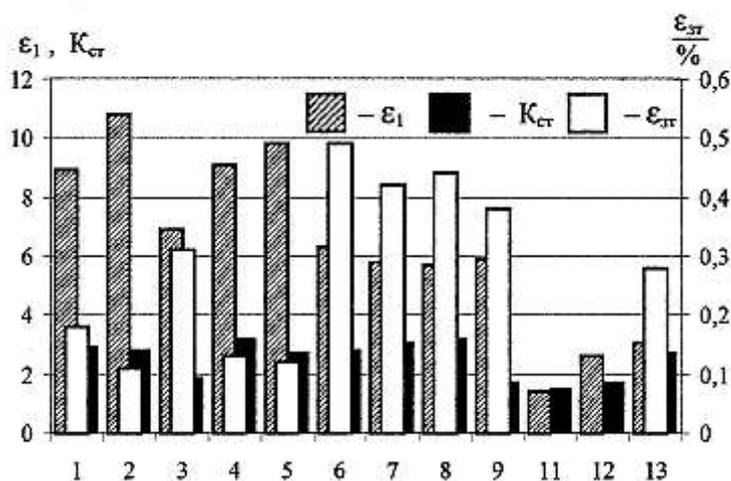
В качестве критерия способности твердого сплава сохранять оптимальное соотношение скоростей изнашивания основного металла и упрочняющего покрытия при изменении свойств абразивной среды был выбран коэффициент стабильности $K_{ст}$, который рассчитывался по формуле

$$K_{ст} = \varepsilon_2 / \varepsilon_1, \quad (2.5)$$

где ε_1 - относительная износостойкость сплава для режима 1;

ε_2 - относительная износостойкость сплава для режима 2.

Для сплавов 11 и 12 данные по $\varepsilon_{зт}$ не приведены, т.к. при испытаниях трещины не зарождались.



2.7. Составление испытательного ряда

Результаты испытаний сплавов-представителей показали, что наиболее высокой износостойкостью для всех режимов изнашивания обладают заэвтектические сплавы с карбоборидным упрочнением (ПП-АН-170, Т-620). Однако эти сплавы имеют неприемлемо низкие значения $\varepsilon_{зт}$. От композиции «основной металл + упрочняющее покрытие» с их использованием следует

ожидать быстрого наступления перезатачивания с отколом упрочняющего покрытия.

Более высокая прочность сплавов 5-8 с несколько пониженным уровнем износостойкости позволяет считать их более пригодными для уменьшения опасности перезатачивания. Однако по критерию $K_{ст}$ они не могут конкурировать со сплавами 3 и 9, содержащими метастабильный аустенит.

Несмотря на пониженную износостойкость, сплавы с метастабильным аустенитом, упрочняющиеся при ужесточении условий изнашивания, позволяют эффективно предотвращать преждевременное затупление лезвий.

На основании результатов испытаний была поставлена задача разработать сплав с метастабильным аустенитом с более высоким уровнем износостойкости. Для этого было решено повысить содержание карбидов в структуре путем повышения содержания ванадия. В качестве прототипа был выбран сплав ПП-200Х20Г5 и аналога ВСН/ОЗН-7.

2.5. Выводы по главе 2

1. Продолжительность срока службы восстановленных с помощью твердых сплавов деталей увеличивается по сравнению с новыми минимум в три раза. Стоимость же восстановления не превышает 25-30% от стоимости новой детали.

2. Механический состав и состояние почвы влияют не только на интенсивность износа, но и на его характер.

3. На суглинистом черноземе влажностью 10% износ происходит примерно в 6 раз быстрее, чем при влажности 26%.

4. Увеличение скорости или глубины пахоты приводит к резкому росту давления в нижней части носка лемеха и перераспределению его в других местах.

5. Испытание сплавов-представителей показали, что наиболее высокой износостойкостью для всех режимов изнашивания обладают заэвтектические сплавы с карбоборидным упрочнением (ПП-АН-170, Т-620).

Глава 3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Постановка задачи на многофакторный эксперимент

По результатам испытаний сплавов-представителей была выявлена перспективность применения износостойких сплавов с метастабильным аустенитом для упрочнения режущих элементов почвообрабатывающих машин. Однако исследованные сплавы ПП-200Х20Г5Т и ВСНУОЗН-7 имеют недостатки, определяющие необходимость дальнейших работ по оптимизации состава наплавочного материала.

1. Сплав ПП-200Х20Г5Т имеет низкую по сравнению с заэвтектическими белыми чугунами износостойкость в условиях изнашивания, не способствующих упрочнению аустенита, из-за пониженного содержания карбидов. Прочностные характеристики также неудовлетворительны. Повысить количество карбидной фазы без ущерба прочностным характеристикам возможно, как отмечалось ранее, за счет легирования ванадием с целью замены карбидов хрома тонкодисперсными специальными карбидами УС.

2. Сплав ВСН/ОЗН-7 отличается неоправданно сложная система легирования. Износостойкость также недостаточна. Целесообразно ограничиться дополнительным легированием ванадием для начального карбидного упрочнения и исключить бор, т. к. дополнительное упрочнение боридными в количестве до 1% ведет к охрупчиванию сплава без заметного прироста износостойкости. Легирование азотом в строго ограниченных пределах представляет определенные технологические трудности. Неясна также роль большого количества кремния, т. к. кремний не влияет на свойства метастабильного аустенита и не участвует в образовании карбидной фазы, а также повышает склонность к образованию горячих трещин.

По итогам анализа результатов испытаний сплавов-представителей была поставлена задача разработать порошковую проволоку для наплавки режущих элементов с оптимизацией химического состава наплавленного металла на основе хромомарганцевого метастабильного аустенита с дополнительным легированием ванадием с применением аппарата теории планирования экстремальных экспериментов. В качестве основных требований к наплавленному металлу были выставлены максимально достижимые износостойкость в режиме изнашивания по закрепленному абразиву и способность к упрочнению, определяемую коэффициентом стабильности, в сочетании с достаточным уровнем прочностных свойств. Весьма желательным был минимальный уровень легирования, в особенности ванадием.

3.2. Методики определения параметров оптимизации

В качестве основных параметров оптимизации Y_1 и Y_2 при проведении многофакторного эксперимента были выбраны соответственно величины 82 и $K_{ст}$, определяемые по приведенной выше методике. Т. К. изготовление малых количеств опытных порошковых проволок сопряжено со значительными трудностями, опытные сплавы наплавливались с помощью трубчатых электродов, представляющих собой трубку с наружным диаметром 5 мм и толщиной стенок $0,5$ мм, заполненную порошкообразной шихтой с ферросплавами и графитом. На наружную поверхность трубчатого электрода наносилась обмазка с ионизирующими, шлако- и газообразующими компонентами, смешанными с жидким стеклом. В качестве контрольных параметров оптимизации Y_3 и Y_4 использовались соответственно величины разрушающих напряжений $\sigma_{от}$ при отслоении и деформации зарождения трещины $\epsilon_{зт}$.

Испытания на отслоение проводились аналогично методике «Implant» [37], применяемой при испытаниях на склонность к холодным трещинам и

отличающейся предельной простотой и вполне приемлемой достоверностью. Схема изготовления образцов для проведения испытаний приведена на рис. 3.1.

Испытания проводились в следующей последовательности. В три отверстия с радиусом 8 в планке 1 вставились три стержня 2 с площадью поперечного сечения в рабочей части $F_{обр}$. Планка и стержни изготавливались из стали 65Г. На верхний край планки испытываемым электродом наплавлялся валик 3, при этом возникало сварное соединение между валиком и стержнем. Далее путем резки по плоскостям 4 изготавливались образцы для испытаний на растяжение и определялась разрушающая нагрузка $P_{от}$. Критерием стойкости к отслоению Y_3 служило разрушающее напряжение $\sigma_{от} = P_{от} / F_{обр}$ (Гпа).

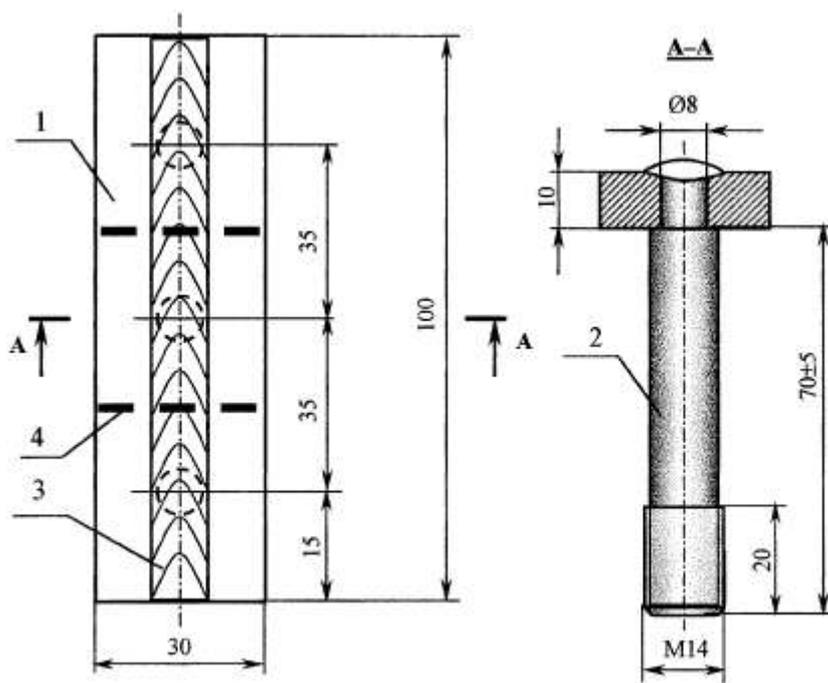


Рис. 3.1. Образцы для испытаний на отслоение

3.3. Определение размеров факторного пространства

При выборе независимых переменных (факторов) учитывались требования [38] непосредственного воздействия на объект, независимости, возможности измерения с требуемой точностью и управляемости. Под управляемостью фактора подразумевается возможность установки и поддержания нужного уровня фактора в выбранном диапазоне постоянным в течении всего опыта или его изменение по заданной программе. Совокупность факторов должна быть совместимой. Под совместимостью понимается возможность осуществить, причем безопасно, все запланированные комбинации уровней факторов, т.е. все опыты. Соблюдались также требования, сформулированные в [39]:

1. Ошибки измерения факторов пренебрежимо малы по сравнению с ошибками измерения зависимых переменных.
2. Интервал между соседними отсчетами факторов намного больше ошибки их измерения.
3. Каждый фактор не должен сильно коррелировать с остальными.

Содержание в наплавленном металле легирующих элементов не может быть в качестве независимых переменных, т. К. химический состав наплавленного металла в пределах одного опыта имеет большой и трудно контролируемый разброс данных, особенно при малом содержании легирующих элементов (в рассматриваемом случае углерода и ванадия). Весьма сложно также подобрать расчетный состав шихты с заданным содержанием легирующих элементов, т. К. большинство компонентов помимо основного легирующего элемента являются носителями углерода. Следовательно, содержание углерода тесно коррелирует с содержанием других элементов.

В качестве независимых переменных, удовлетворяющих требованиям совместимости, независимости и управляемости, были выбраны содержание по массе в шихте трубчатых электродов марганца марки Мр 1, феррохрома

ФХ005, графита 3Т и феррованадия Вд-1, являющихся компонентами-носителями соответствующих легирующих элементов. Остальная масса шихты дополнялась железным порошком марки ПЖ-1с. Для приготовления шихты трубчатого электрода использовались компоненты из одной партии. Химический состав использованных в процессе эксперимента компонентов шихты приведен в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Химический состав компонентов шихты

Компонент	Содержание элемента, % по массе			
	С	Mn	Cr	V
Графит 3Т	91,3	-	-	-
Марганец металлический Мр 1, ГОСТ 6008-90	0,1	95,2	-	-
Феррохром ФХ005, ГОСТ 4757-91	0,05	-	68,3	-
Феррованадий Вд-1, ГОСТ 4760-91	0,74	-	-	35,0
Порошок железный ПЖ1с	0,08	0,5	-	-

При выборе интервалов варьирования факторов в качестве центра эксперимента были предварительно выбраны с корректировкой средние между ВСН/ОЗН-7 и ПП-200Х20Г5Т содержания легирующих элементов (15% Cr, 7% Mn, 1,8% V и 1,5% С). Предварительно были назначены следующие расчетные значения интервалов варьирования химсостава наплавленного металла: Cr – 10-20%, Mn – 4-10%, С – 0,8-2,2%, V – 1,2-2,4%. Далее определялось расчетное количество в шихте $M_{iш}$ компонента-носителя i -ого легирующего элемента (за исключением углерода) по формуле:

$$M_{iш} = \frac{100 * M_{iн}}{K_{ш} M_{iк}}, \quad (3.1)$$

где: $M_{iн}$ – требуемое содержание i -ого легирующего элемента в наплавленном металле, %;

M_{ik} – содержание i -ого легирующего элемента в компоненте-носителе, %;

$K_{ш}$ – коэффициент наполнения трубчатого электрода, равен соотношению масс заполненного трубчатого электрода и шихты на единицу длины, по результатам опытной проверки $K_{ш} = 0,58$.

Далее определялось количество углерода C_H в наплавленном металле:

$$C_H = C_T(1 - K_{ш}) + K_{ш} \left[\sum_{i=1}^3 \frac{C_i M_{iш}}{100} + 0,913C_{ш} + C_{п}(1 - 0,01 \sum_{i=1}^3 M_{iш} - 0,01C_{ш}) \right], \quad (3.2)$$

где: C_T - содержание углерода в металле трубки, %;

C_i - содержание углерода в i -ом компоненте, %;

$C_{ш}$ - содержание графита в шихте, %.

$C_{п}$ - содержание углерода в железном порошке.

Отсюда количество графита, добавляемого в шихту для получения расчетной концентрации углерода в наплавленном металле:

$$C_{ш} = \frac{C_H - C_T(1 - K_{ш})}{K_{ш}} - \frac{1}{0,913 - 0,01C_{п}} \left[\sum_{i=1}^3 \frac{C_i M_{iш}}{100} + C_{п}(1 - 0,01 \sum_{i=1}^3 M_{iш} - 0,01C_{ш}) \right] \quad (3.3)$$

В таблице 3.2 приведены результаты расчета по формулам (3.1) и (3.3) минимального и максимального содержания компонентов-носителей и графита. Минимальной прибавке графита соответствует максимальное содержание хрома, марганца и ванадия и минимальное содержание углерода, максимальной - минимальное содержание компонентов-носителей и максимальное - углерода.

Таблица 3.2

Результаты расчета по формулам (3.1) и (3.3)

Содержание компонента-носителя в шихте, %						Содержание графита в шихте, %	
Мр 1		ФХ005		Вд-1			
Миним.	Макс.	Миним.	Макс.	Миним.	Макс.	Миним.	Макс.
8,5	24,7	21,5	30,8	4,5	9,5	0,77	2,25

Связь между значениями i -ого фактора в кодированном (X_i) и действительном (x_i) масштабах выражается формулой:

$$X_i = (x_i - x_{i0})/\Delta x_i, \quad (3.4)$$

где x_{i0} - средний уровень i -ого фактора

Δx_i - интервал варьирования i -ого фактора, определяется по формуле $\Delta x_i = (x_{i \max} - x_{i \min})/2$.

Таблица 3.3

Уровни варьирования факторов

Содержание в шихте по массе, %	Код	Уровни варьирования		
		-1	0	1
Феррохрома ФХ 005	X_1	20	26	32
Марганец Мр 1	X_2	8	16	24
Графит ЗТ	X_3	0,8	1,5	2,2
Феррованадий Вд-1	X_4	3	5,5	8

3.4. Построение матрицы эксперимента

Для оптимизации состава наплавленного металла было решено построить полиномиальную линейную модель для k факторов вида

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k b_{ij} X_i X_j, \quad (3.5)$$

с последующим движением в область оптимума методом крутого восхождения.

Для сокращения числа опытов использовалась полуреплика 2^{4-1} полного факторного эксперимента (ПФЭ) с определяющим контрастом $1 = X_1 X_2 X_4$ и генерирующим соотношением $X_4 = X_1 X_2$, что позволяет оценить влияние углерода (фактор X_3) в более или менее чистом виде, а также его парные взаимодействия. Матрица эксперимента приведена в таблице 3.4.

Матрица эксперимента

№ опыта	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄ = X ₁ X ₂
1	+	+	+	+	+
2	+	+	+	-	+
3	+	+	-	+	-
4	+	+	-	-	-
5	+	-	+	+	-
6	+	-	+	-	-
7	+	-	-	+	+
8	+	-	-	-	+

Ее реализация позволяет оценить коэффициенты линейной модели (основные эффекты) b_1 , b_2 и b_4 , смешанные с парными взаимодействиями:

$$\begin{aligned} b_1 &\rightarrow \beta_1 + \beta_{24}, \\ b_2 &\rightarrow \beta_2 + \beta_{14}, \\ b_4 &\rightarrow \beta_3 + \beta_{12}. \end{aligned} \quad (3.6)$$

Эффект b_3 смешивается с четверным эффектом

$$b_3 \rightarrow \beta_1 + \beta_{1234}. \quad (3.7)$$

Кроме того, предоставляется возможность оценить парные взаимодействия фактора X_3 , смешанные с тройными взаимодействиями

$$\begin{aligned} b_{13} &\rightarrow \beta_{13} + \beta_{234}, \\ b_{23} &\rightarrow \beta_{23} + \beta_{134}, \\ b_{34} &\rightarrow \beta_{34} + \beta_{123}. \end{aligned} \quad (3.8)$$

Расчет коэффициентов уравнения (3.5) производился с использованием аппарата матричного исчисления по формуле, взятой из [38]

$$B = (X^T X)^{-1} X^T Y, \quad (3.9)$$

где: B - матрица-столбец искомых коэффициентов уравнения (3.5), ее размерность равна числу коэффициентов;

Y - матрица-столбец результатов опытов, ее размерность равна числу опытов N ;

$$B = \begin{pmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \dots \\ b_i \\ \dots \\ b_k \\ b_{12} \\ \dots \\ b_{ij} \\ \dots \\ b_{k-1, k} \end{pmatrix} \quad Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_n \\ \dots \\ y_N \end{pmatrix}$$

X - прямоугольная матрица условий эксперимента (число строк равно числу опытов N , число столбцов - числу коэффициентов модели), строится в следующей последовательности

$$X = \begin{pmatrix} X_0 & X_1 \dots X_i \dots x_k & X_1 X_2 & \dots & X_i X_j & \dots & X_{k-1} X_k \\ X_{0_1} & X_{1_1} \dots X_{i_1} \dots X_{k_1} & (X_1 X_2)_1 & \dots & (X_i X_j)_1 & \dots & (X_{k-1} X_k)_1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{0_n} & X_{1_n} \dots X_{i_n} \dots X_{k_n} & (X_1 X_2)_n & \dots & (X_i X_j)_n & \dots & (X_{k-1} X_k)_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{0_N} & X_{1_N} \dots X_{i_N} \dots X_{k_N} & (X_1 X_2)_N & \dots & (X_i X_j)_N & \dots & (X_{k-1} X_k)_N \end{pmatrix};$$

X^T - транспонированная матрица X ;

$(X^T X)^{-1}$ - матрица, обратная информационной матрице (матрице Фишера) эксперимента $X^T X$.

После расчета коэффициентов проверяется гипотеза об их статической значимости по методике, описанной в [38]. Предварительно вычисляется дисперсия эксперимента. Если дублируют и раз один из опытов, то вычисляется по формуле:

$$S_y^2 = \frac{\sum_{g=1}^u (y_{0g} - \bar{y}_0)^2}{u-1}, \quad (3.10)$$

где y_{0g} - результат g -ого дубля опыта,

\bar{y}_0 - среднее арифметическое всех n дублей. Дисперсия оценок коэффициентов регрессии рассчитывается по формулам

$$S_{b_0}^2 = 0,125 S_y^2; \quad (3.11)$$

$$S_{b_i}^2 = 0,125 S_y^2; \quad (3.12)$$

$$S_{b_{ij}}^2 = 0,125 S_y^2; \quad (3.13)$$

Коэффициенты при S_y^2 формулах (3.11)-(3.13) являются соответствующими диагональными элементами информационной матрицы $(X^T X)^{-1}$. Далее вычисляется доверительный интервал коэффициентов

$$\Delta b_i = t_{\alpha; f_1} S_{b_i}, \quad (3.14)$$

где $t_{\alpha; f_1}$ - табличный критерий Стьюдента с уровнем значимости $\alpha = 0.05$ и числом степеней свободы $f_1 = n - 1 = 3$.

Коэффициент считается статистически значимым, если он по абсолютной величине больше своего доверительного интервала

$$|b_i| \geq \Delta b_i, \quad (3.15)$$

После отбрасывания статистически незначимых коэффициентов делается проверка полученной модели на адекватность, т. е. выясняется, можно ли использовать полученное уравнение или необходима более точная модель. Гипотезу об адекватности проверяют критерием Фишера или F-критерием. Его расчетное значение определяется по формуле

$$F_{f_2, f_1}^{\text{расч}} = \frac{S_{\text{неад}}^2}{S_y^2}, \quad (3.16)$$

где f_2 - число степеней свободы, определяемое по формуле:

$$f_1 = N - k', \quad (3.17)$$

где k' - число оставленных коэффициентов уравнения регрессии, включая b_0 .

Дисперсия неадекватности $S_{\text{неад}}^2$ рассчитывается по формуле:

$$S_{\text{неад}}^2 = \frac{\sum_{n=1}^N (y_{n_{\text{расч}}} - y_{n_{\text{эксп}}})^2}{f_2}, \quad (3.18)$$

где $y_{n_{\text{расч}}}$ и $y_{n_{\text{эксп}}}$ - значения функции отклика в n-ом опыте, соответственно рассчитанные по уравнению регрессии и определяемые экспериментально.

Гипотезу об адекватности уравнения принимают в том случае, когда рассчитанное значение F-критерия не превышает табличного.

$$F_{\text{расч}} \leq F_{\text{табл}}, \quad (3.19)$$

Расчеты коэффициентов уравнения регрессии, дисперсии эксперимента, проверку статистической значимости коэффициентов и гипотезы об адекватности проводились по рабочим таблицам, составленным с использованием пакета программ Microsoft Excel и приведенным в Приложении 1-4 вместе с результатами эксперимента.

3.5. Результаты эксперимента

3.5.1. Построение уравнений регрессии

Диаграмма с результатами многофакторного эксперимента представлена на рис. 3.2. Опыт № 8 дублировался 4 раза для оценки дисперсии эксперимента. Полученные данные подставлялись в рабочие таблицы (Приложение 1-4).

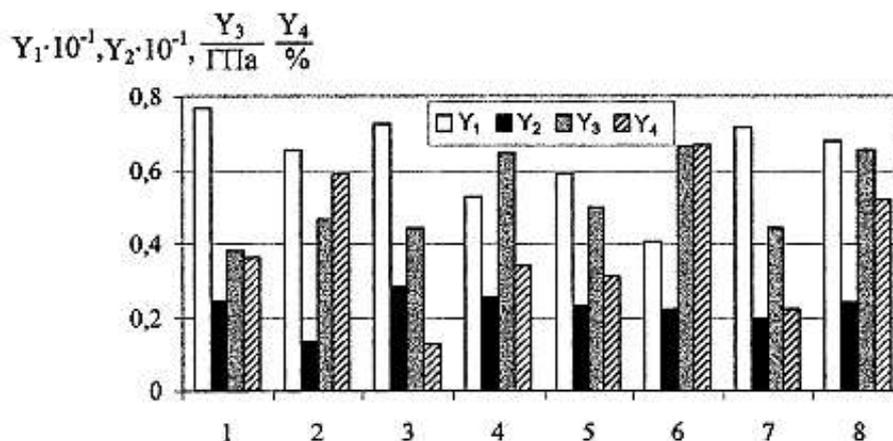


Рис. 3.2. Диаграмма результатов многофакторного эксперимента

Были получены следующие уравнения регрессии

$$\left. \begin{aligned} Y_1 &= 6,328 + 0,364X_1 - 0,2861X_2 + 0,659X_3 + 0,7120X_4 - 0,2876X_3X_4; \\ Y_2 &= 2,251 - 0,1605X_2 + 0,1220X_3 - 0,2125X_4 + 0,2195X_1X_3 + 0,1770X_2X_3; \\ Y_3 &= 0,5241 - 0,0408X_1 - 0,0217X_2 - 0,0833X_3 - 0,0383X_4 + 0,0212X_2X_3; \\ Y_4 &= 0,3912 - 0,0378X_1 + 0,0903X_2 - 0,1367X_3 + 0,0322X_4 + 0,0272X_1X_3; \end{aligned} \right\} (3.20)$$

Из них следует, что износостойкость растет с увеличением количества легирующих элементов (кроме марганца). Наибольшее влияние оказывают углерод и ванадий. Влияние легирующих элементов на коэффициент стабильности определяется их способностью образовывать способный к фазовому наклепу аустенит. При нижнем уровне углерода увеличение содержания марганца и хрома способствует увеличению количества метастабильно аустенита. При верхнем уровне углерода увеличение содержания марганца и хрома увеличивает стабильность аустенита и ухудшает его способность к фазовому наклепу. Добавка ванадия приводит к связыванию углерода в карбиды и падению стабильности аустенита. На стойкость к отслоению добавки почти всех легирующих элементов в изученном факторном пространстве сказываются негативно. Деформация зарождения трещины возрастает при увеличении содержания марганца и ванадия и падает при увеличении содержания углерода.

Итоги анализа полученных моделей показали, что для достижения наилучших значений тех или иных параметров оптимизации требуется изменять факторы в разных направлениях. Для решения компромиссной задачи в качестве комплексного параметра оптимизации была использована обобщенная функция желательности.

3.5.2. Расчет функций желательности

Функция желательности d_i для i -ого параметра оптимизации изменяется в пределах 0-1,0. Шкала желательности строится следующим образом [39]:

$d_i = 1,0$ - максимально достижимый уровень качества, в большинстве случаев неизвестен, не всегда следует его добиваться;

0,8...1,0 - очень высокий уровень качества, также не всегда следует его добиваться;

0,6...0,8 - хороший уровень качества (несколько выше реально достижимого);

0,37...0,6 - достаточный уровень качества;

0,37 - заданный уровень качества;

0...0,37 - недопустимый уровень качества.

Величина d_i для заданного значения параметра оптимизации Y_i определяется в следующей последовательности.

1. Задаются приемлемый Y_{i2} и неприемлемый уровни Y_{i1} (реперные точки) и им присваиваются соответствующие шкале желательности значения d_{ik} ;

2. Определяются безразмерные параметры y'_{ik} по формуле:

$$y'_{ik} = \ln \ln \frac{1}{d_{ik}}; \quad (3.21)$$

3. Устанавливается линейная функциональная зависимость $y'_i(Y_i)$ с использованием известного из аналитической геометрии уравнения прямой, проходящей через две точки:

$$\frac{y'_i - y'_{i1}}{y'_{i2} - y'_{i1}} = \frac{Y_i - Y_{i1}}{Y_{i2} - Y_{i1}}. \quad (3.22)$$

4. По уравнению (3.22) вычисляются значения y'_i .

5. Вычисляются значения d_i по формуле

$$d_i = e^{-(e^{-y'_i})}, \quad (3.23)$$

После нахождения функций желательности для всех параметров оптимизации находится обобщенная функция желательности D для всех опытов как среднее геометрическое частных функций желательности

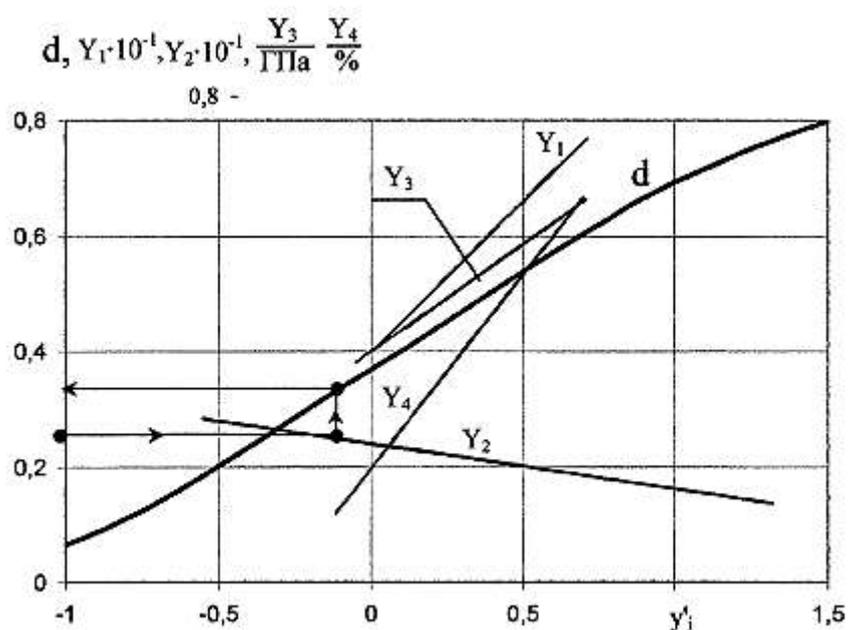
$$D = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n d_i}. \quad (3.24)$$

Далее для D определяются коэффициенты уравнения регрессии (3.6). Данные по реперным точкам приведены в табл. 3.5. В качестве крайних точек Y_{ik} выбирались максимальный и минимальный результаты эксперимента.

Реперные точки

Код	Y_{ik}	d_{ik}	y'_{ik}
Y_{11}	4,0	0,37	-0,4759
Y_{12}	7,5	0,6	0,6717
Y_{21}	2,4	0,37	0,005
Y_{22}	1,6	0,7	3,901
Y_{31}	0,4	0,37	0,005
Y_{32}	0,65	0,6	3,901
Y_{41}	0,2	0,37	-0,4759
Y_{42}	0,65	0,6	1,500

На рис. 3.3 приведена номограмма для перевода значений Y_i в соответствующие значения функции желательности d

Рис. 3.3. Номограмма для вычисления $d(Y_i)$

Результаты по расчету обобщенной и частных функций желательности для всех параметров оптимизации многофакторного эксперимента приведены в

Приложении 5. Полученные для каждого опыта значения D подставлялись в рабочую таблицу (Приложение 6), по которой рассчитывались коэффициенты линейного уравнения регрессии для D , которое имеет вид

$$D = 0,5418 + 0,0196X_2 - 0,0363X_3 + 0,0281X_4. \quad (3.25)$$

3.5.3. Движение в область оптимума

Методом крутого восхождения была предпринята попытка осуществить движение в область оптимума по градиенту модели (3.25). Для этого значения факторов изменяли пропорционально величинам коэффициентов b_i с учетом их знака. Шаги варьирования Δ_i факторов рассчитывались в натуральном масштабе. Для этого в начале определялись произведения $b_i \Delta x_i$. Назначался шаг варьирования для третьего фактора Δ_3 и далее определялись остальные шаги Δ_i для остальных факторов:

$$\Delta_i = \Delta_3 \frac{b_i \Delta x_i}{b_3 \Delta x_3}. \quad (3.26)$$

Все шаги Δ_i в последующем округлялись.

В качестве основного уровня был выбран центр матрицы многофакторного эксперимента. К значениям факторов x_{0i} на основном уровне прибавлялись со своим знаком их шаги и записывалась серия «мысленных» опытов, в которых ожидалось улучшение обобщенной функции желательности. Некоторые из мысленных опытов реализовывались. Результаты расчетов и данные по мысленным и реальным опытам представлены в Приложении 7.

В качестве оптимального варианта было решено остановиться на составе шихты трубчатого электрода, соответствующего опыту № 10, т. к. дальнейшее движение по градиенту ведет к падению износостойкости и снижению величины D .

Химический состав сплава типа 150X12Г7Ф2, полученного в опыте № 10, представлен в таблице 3.6.

Химический состав оптимального сплава

Легирующий элемент	C	Cr	Mn	V
Содержание, %	1,46	11,5	7,3	2,1

Микроструктура наплавленного металла представлена на рис. 3.4.



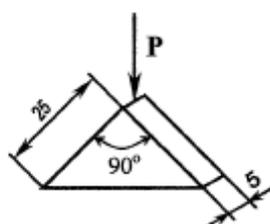
а)

б)

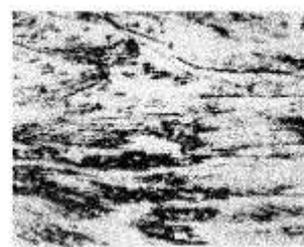
Рис. 3.4. Микроструктура наплавленного металла

а) x 150; б) x 650

Она представляет собой дендриты метастабильного аустенита с карбидной сеткой, причем карбидные выделения располагаются также по объему зерен. При ударных испытаниях по методике Шварцера А.Я. [40], когда по вершине клинового образца наносится удар с энергией 50 Дж (рис. 3.5а), в микроструктуре появляется мартенсит деформации (рис. 3.5б). Микротвердость увеличивается от 5,5 ГПа до 9,8 ГПа.



а)



б)

Рис. 3.5. Микроструктура сплава 150X12Г7Ф2 после ударных

испытаний: а) схема испытаний;

б) микроструктура после второго удара (x 450)

Разработанный сплав несколько уступает по износостойкости сплаву сормайт, широко используемому для упрочнения режущих элементов почвообрабатывающих машин, однако заметно превосходит его по прочностным параметрам и способности матрицы к упрочнению. Он может быть рекомендован как наплавочный материал для наплавки рабочих поверхностей самозатачиваемых режущих элементов.

3.6. Расчет порошковой проволоки

Автоматизация технологического процесса износостойкой наплавки плоских режущих органов потребовала разработки порошковой проволоки, обеспечивающей получение заданного в таблице 3.6 химического состава наплавленного металла. С учетом разбавления электродного металла основным был назначен состав порошковой проволоки ПП-150Х12Г7Ф2, приведенный в таблице 3.7.

Расчет проводился по приведенной в работе [40] методике.

Таблица 3.7

Химический состав порошковой проволоки

Содержание элементов $M_{\text{пи}}$, %				
С	Cr	Mn	V	Na_2SiF_6
1,7	14	9	3,0	0,8

1. Определяется требуемое количество легирующих компонентов P_i (кроме графита) и количество дополнительно внесенного ими углерода C_i на 100 г проволоки:

$$P_i = \frac{a_i \cdot 100}{b_i}; \quad C_i = \frac{P_i \cdot c_i}{100}, \quad (3.27)$$

где a_i - требуемое содержание элемента, %;

b_i - содержание элемента в данном компоненте, %;

C_i - содержание углерода в данном компоненте, %.

Далее определяется количество графита P_C , необходимое для получения заданного содержания углерода a_C по формуле

$$P_C = \frac{(a_C - \sum_{i=1}^n C_i) \cdot 100}{b_C}, \quad (3.28)$$

где: b_C - содержание углерода в графите, %.

2. Определяем сумму масс компонентов $\sum P_i$ (с учетом количества графита и кремнефтористого натрия Na_2SiF_6)

3. Определяется сумма объемов всех компонентов $\sum P_i / p_{ni}$, где p_{ni} - насыпная плотность i -ого компонента, которая связана с плотностью монолитного материала p_i соотношением

$$p_{ni} = k p_i, \quad (3.29)$$

Согласно[111] $k = 0,56 \dots 0,6$; чаще всего $k = 0,59$.

Результаты расчета сведены в таблицу 3.8.

Таблица 3.8

Расчет количества легирующих компонентов на 100 г проволоки

Компонент	Содержание элемента, %				P_i , Г	C_i , г	P_i/p_{ni} , см ³
	Mn	Cr	V	C			
Ферромарганец Мн-1	80,0	—	—	1,0	11,25	0,113	2,119
Феррохром ФХ100	—	65,0	—	1,0	21,54	0,215	5,318
Феррованадий Вд-1	—	—	35,0	0,75	8,57	0,086	2,484
Графит ЗТ	—	—	—	90,0	1,43	—	1,85
Na_2SiF_6	—	—	—	—	0,6	—	0,44
Сумма					42,16	0,414	11,78

4. Определяется соотношение площадей оболочки $P_{об}$ и шихты B ,

$$f = \frac{F_{об}}{F_{ш}} = \frac{100 - \sum P_i}{p_{об} K_y K_B \sum P_i / p_{ni}} = 0,72; \quad (3.30)$$

где: $p_{об}$ - плотность металла оболочки;

K_y - коэффициент, учитывающий уплотнение шихты при ее заворачивании в ленту ($K_y = 0,95 - 0,97$);

K_B - коэффициент внедрения, зависящий от разности грануляций компонентов при одинаковой грануляции всех компонентов $K_B = 1$, при разных грануляциях $K_B = 0,80 - 0,95$ и определяется по экспериментальной кривой [41, 42].

5. Выбираются диаметры проволоки $d_{пр} = 1,6$ мм и сворачивающей проволоки $d_B = (1,5...1,7) d_{пр} = 2,6$ мм.

6. По эмпирическим формулам, взятым из [40] определяется размеры ленты из стали 08кп из условия отсутствия железного порошка в шихте:

ширина ленты

$$b = \pi d_B = 8,164 \approx 8,0 \text{ мм}; \quad (3.31)$$

толщина ленты

$$\delta = 0,55 d_B \left(1 - \sqrt{\frac{1}{1+f}} \right) = 0,39 \approx 0,4 \text{ мм}. \quad (3.32)$$

3.7. Выводы по главе 3

1. В результате проведения многофакторного эксперимента получен оптимальный состав сплава для упрочнения рабочих поверхностей самозатачиваемых режущих органов почвообрабатывающих машин. Оптимизация проводилась по четырем параметрам оптимизации с применением функции желательности при решении компромиссной задачи и метода крутого восхождения при движении в область оптимума.

2. Разработанный сплав несколько уступает по износостойкости сплаву сормайт, широко используемому для упрочнения режущих элементов почвообрабатывающих машин, однако заметно превосходит его по прочностным параметрам и способности матрицы к упрочнению.

3. Разработана порошковая проволока для автоматической наплавки ПП-150X12Г7Ф2.

Глава 4. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ

4.1. Оборудование для восстановления

Наплавочная установка УД-209 (рис. 4.1) состоит из сварной станины, на которой размещены каретка, вращатель детали, механизм подачи электродной проволоки, мундштука, задней бабки с подвижной пиколью, устройства для отсоса газов, бункера для флюса и пульта управления.

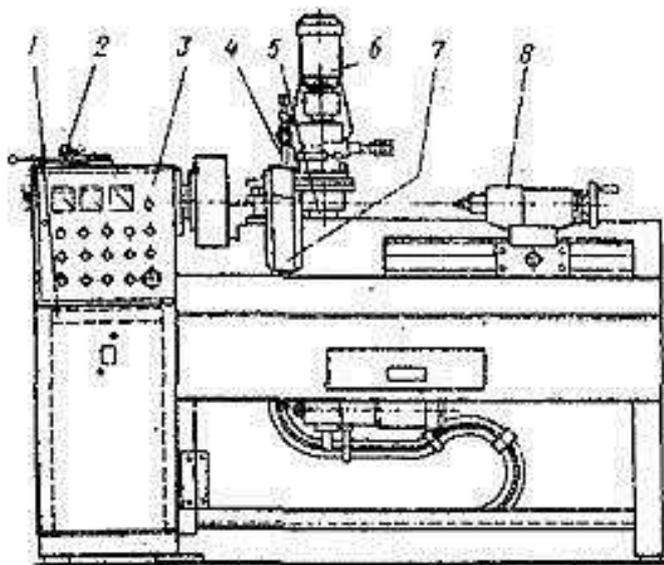


Рис. 4.1. Схема наплавочной установки УД-209

Каретка 5 установлена на станине 1 наплавочного станка и представляет собой плиту, на которой закреплены ролики: верхние - на неподвижных осях и нижние, имеющие устройство, поджимающее их к направляющим станины. На корпусе каретки крепятся механизмы подъема сварочной головки, а также концевые выключатели механизма подъема и перемещения каретки.

Механизм подачи 6 служит для подачи электродной проволоки через мундштук 4 в зону наплавки. Механизм подачи установлен на каретке и состоит из электродвигателя и червячного редуктора, соединенных между собой изоляционной муфтой и изолирующей прокладкой. Кроме того,

механизм подачи электродной проволоки содержит колебатель мундштука и обеспечивает одновременную подачу и колебания электрода. Регулирование скорости подачи электродной проволоки осуществляется ступенчато при помощи сменных шестерен.

Мундштук 4 установлен на механизме подачи, содержит спираль, являющуюся направляющей для электродной проволоки. Вращатель 2 предназначен для вращения наплавляемой детали, а также для синхронного перемещения каретки при помощи ходового винта при определенных видах наплавки. Привод вращателя осуществляется через клиноременную передачу и червячный редуктор от тиристорного электродвигателя. Такой привод обеспечивает плавную регулировку частоты вращения шпинделя установки в пределах $0,06 \text{—} 6,58 \text{ мин}^{-1}$.

Задняя бабка 8 с подвижной пинолью предназначена для поджима длинномерных наплавляемых деталей. Пиноль имеет ручной привод и снабжена тепловым компенсатором. Газоотсос 1 установлен на каретке и предназначен для удаления аэрозолей, образующихся в процессе наплавки. Пульт управления 3 с установкой выполнен в виде панели и содержит помимо управляющих кнопок амперметр и вольтметр для контроля за силой тока и напряжением дуги, а также указатель чисел оборотов шпинделя.

Наплавочная установка питается от универсального сварочного выпрямителя ВДУ-506УЗ, имеющего крутопадающие и жесткие (пологопадающие) внешние характеристики. Данный выпрямитель имеет напряжение холостого хода не более 85 В, номинальное же рабочее напряжение для жестких внешних характеристик 50 В (пределы регулирования - 18...50 В), а для падающих внешних характеристик 46 В (пределы регулирования – 22...46 В). Номинальный сварочный ток достигает 500 А. Пределы регулирования сварочного тока для жестких внешних характеристик от 60 до 500 А, для падающих внешних характеристик от 50 до 500 А. Выпрямитель обеспечивает при номинальном напряжении сети

легкое зажигание и устойчивое горение дуги при любом токе в пределах регулировочного диапазона.

В ремонтном производстве для наплавки деталей под флюсом достаточно широко используется автомат А-580М, который представляет собой универсальную сварочную головку облегченного типа. Его используют для наплавки цилиндрических деталей диаметром 50 мм электродной проволокой диаметром 1,6...4 мм. Автомат обеспечивает скорость подачи проволоки в пределах 78...198 м/ч. Автоматическую сварочную головку устанавливают на специальных вращателях или переоборудованных токарно-винторезных станках.

4.2. Технология упрочнения

Для проведения опытно-промышленных испытаний результатов работы был изготовлен комплект из 16 упрочненных лемехов - 8 правых и 8 левых, а также упрочнены 8 долот плоских рабочих органов культиватора-плоскореза АПК 3-01. Данные по серийным и экспериментальным лемехам и долотам приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1

Технические данные рабочих органов самозатачивающихся лемехов,
подготовленных для испытаний

Показатель	Значение показателя			
	Серийное долото	Серийный лемех	Экспериментальное долото	Экспериментальный лемех
Упрочняемая сторона	Задняя	Задняя	Задняя	Задняя
Средняя толщина				

слоя, мм наплавленного основного	2,0 4,0	1,0 2,0	1,7 4,0	1,0 2,0
Угол клина основного слоя, град	10	8	10	8
Угол самозатачивания основного слоя после наплавки, град	30	25	30	25
Отношение износостойкости наплавленного слоя к износостойкости основного	6-13	6-13	6-10	6-10
метод упрочнения, материал и химический состав покрытия	РДН Т-620 350X25Г2Р2 Т2	РДН Т-620 350X25Г2Р2 Т2	АДН 1111- 150X12Г7Ф 2 150X12Г7Ф 2	АДН 1111- 150X12Г7Ф 2 150X12Г7Ф 2

Схема наплавки лемеха показана на рис. 4.3.

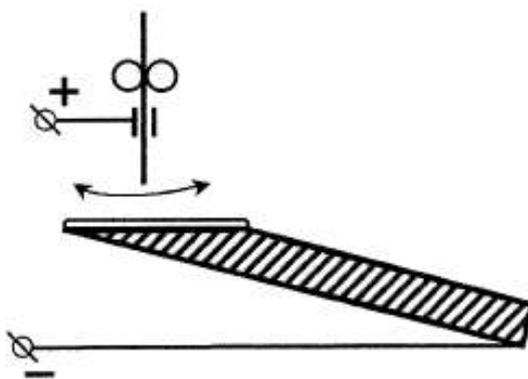


Рис. 4.2. Схема наплавки лемеха

Упрочнение проводилось в следующей последовательности.

1. Заготовки лемеха с просверленными отверстиями, очищались от загрязнения, масла и ржавчины.

2. Лемех укладывался на водоохлаждаемую подкладку и жестко фиксируется четырьмя болтами в кондукторе.

3. На начало и конец лемеха устанавливались без зазора вводная и выводная технологические планки.

4. Устанавливается расход охлаждающей жидкости $Q = 4$ л/мин.

5. Проводилась наплавка упрочняемой поверхности на наплавочной установке УД-209, внешний вид которой показан на рис 4.1.

Наличие в кондукторе фиксатора для регулирования угла наклона горизонтальной оси вращения позволяет сориентировать наплавляемую коническую поверхность горизонтально, что значительно улучшает условия формирования валика и не требует изменения режимов в процессе наплавки для устранения вытекания металла из сварочной ванны.

Колебания наплавочной проволоки позволяют наносить слой необходимой ширины.



Рис. 4.3. Установка для упрочнения

Наплавка проводилась в один слой, технологический прием «углом назад»

Параметры режима наплавки приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2

Параметры режима наплавки

Параметр режима	Величина
Диаметр электрода, мм	1,6
Вылет электрода, мм	25-30
Сварочный ток, А	170-180
Напряжение дуги, В	20-21
Амплитуда колебаний электрода, мм	25
Частота колебаний электрода, Гц	1,5
Скорость сварки м/ч	20-21
Скорость подачи проволоки, м/ч	155-160
Частота импульсов, Гц	50
Длительность импульса, мс.	2,2-2,5

После наплавки механическая и термическая обработка не предусматривается.

4.3. Результаты испытаний

Для оценки эффективности применения разработанной технологии упрочнения в процессе испытаний опытные и серийные лемеха и долота устанавливались совместно на почвообрабатывающий агрегат АПК 3-01.

Установка лемеха производилась в шахматном порядке. Серийные лемеха были изготовлены из стали 65Г и упрочнены ручной дуговой наплавкой штучными электродами марки Т-620, имеющие химический состав 350Х25Г2Р2Т2.

Опытные лемеха были изготовлены из стали 65Г и упрочнены по разработанной технологии. Геометрические размеры основных параметров режущих кромок и углов не отличались от номинальных. Это позволяло проводить испытания в абсолютно идентичных условиях работы. На рис. 4.5 и 4.6 показаны изношенный лемех и лемех после восстановления.



а



б

Рис. 4.4. Лемех и долото плоскореза: а) изношенный; б) восстановленный



а



б

Рис. 4.6. Лемех и долото плоскореза: а) изношенный; б) восстановленный

При закладке опытов одновременно определялись эксплуатационно-технологические, энергетические и агротехнические показатели работы сравнимых агрегатов в соответствии с ГОСТ 70.4.1-80 «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и орудия для не глубокой обработки почвы. Программа и методы испытаний», ГОСТ 70.2.2.-73 «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы энергетической оценки» и ГОСТ 20915-75 «Методы определения условий эксплуатации».

Агротехнические условия представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3

Агротехнические условия

Показатели		Значение
1. Рельеф		Ровный
2. Влажность почвы, %		
в слоях, см	0-10	10
	10-20	14
3. Твердость почвы, МПа		
в слоях, см	0-10	1,8
	10-20	2,1

Почвообрабатывающий агрегат АПК 3-01, был афегатирован с трактором Т-150К. Результаты агротехнических показателей качества работы почвообрабатывающего агрегата отражены в таблице 4.4.

Методика испытаний предусматривала проведение энергетической оценки, а также испытание на износостойкость и способность к самозатачиванию. В качестве критерия энергетической оценки использовался погектарный расход дизельного топлива, износостойкости - интенсивность линейного износа лезвия, мм/га, способности к самозатачиванию - предельный линейный износ до затупления.

Таблица 4.4

Результаты агротехнических показателей качества работы

Показатели	Значение
Скорость движения агрегата, м/с	1,0
Установочная глубина обработки, см	10-12
Фактическая глубина обработки, см	11
Ширина захвата средняя, м	3,0

Результаты по основным эксплуатационно-технологическим показателям представленные в таблрще 4.5. Испытания на ресурс представлены в таблице 4.6

Таблица 4.5

Основные эксплуатационно-технологические показатели

Значение	Показатель	
	Опытные лемеха	Серийные лемеха
Скорость движения агрегата, м/с	1,1	1,1
Средняя ширина захвата, м	3,1	3,1
Средняя глубина обработки, см	9	9
Производительность за 1 ч,га основного времени	2,4	2,2

технологического времени	2,3	2,1
Удельный расход топлива, кг/га	9,5	10,5

Таблица 4.6

Средняя наработка и износостойкость лемехов

Тип лемеха	Наработка, га	Износостойкость, га/мм	Остаточный ресурс, %	Расчетный ресурс, га	Относительная износостойкость
серийный	40,0	1,40	20,0	80	1,02
опытный	40,0	2,66	50,0	80	2,15

Лезвия серийного и экспериментального лемехов после наработки 40 га имели профили режущих кромок, геометрия которых представлена на рис 4.7

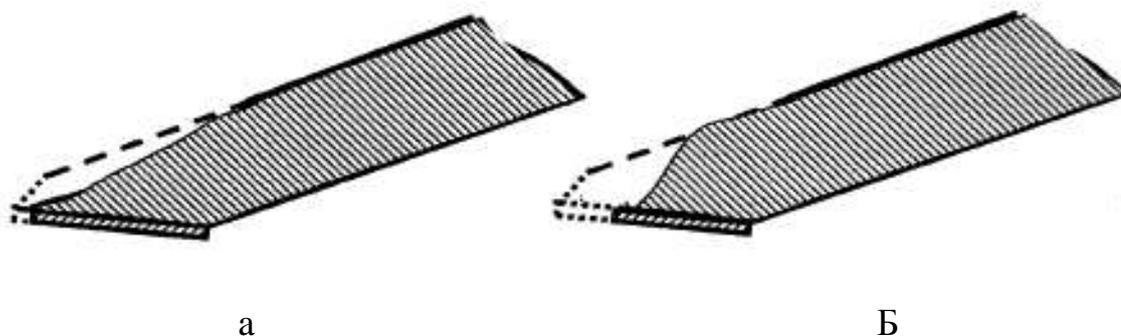


Рис. 4.7. Формы поперечного сечения лемеха

а) экспериментального; б) серийного

По результатам испытаний было установлено снижение погектарного расхода топлива на 10%. Интенсивность линейного износа практически не изменилась, однако величина допустимого износа, а следовательно, и ресурс

работы возросли в 1,7-1,9 раз за счет более выраженного эффекта самозатачивания.

4.4. Выводы по главе 4

1. Спроектирована и изготовлена специализированная установка и кондуктор для реализации технологии упрочнения с термической обработкой основного металла лемеха.

2. Замена ручной электродуговой наплавки на механизированную наплавку позволяет повысить производительность наплавки, легко достичь необходимой ширины упрочнения, уменьшить глубину проплавления и высоту шва, снизить остаточные деформации, улучшить условия работы сварщика.

3. Разработана технология нанесения упрочняющего покрытия на режущие кромку лемеха культиватора-плоскореза, которая апробирована на практике.

4. Применение упрочненных сменных деталей лапы культиватора позволило добиться снижения износа на твердых переуплотненных почвах за счет наличия в структуре упрочняемого покрытия метастабильного аустенита и как следствие, повышение износостойкости основного металла и сохранение способности к самозатачиванию при изменении свойств почвы

5. По сравнению с серийными деталями, у которых наплавленный слой (РДН штучными электродами Т-620) к концу работы полностью изнашивался или обламывался при недостаточной износостойкости основного металла и интенсивность изнашивания катастрофически возрастает, в упрочненных деталях происходит дополнительное упрочнение и интенсивность изнашивания стабильна.

6. Применение разработанной технологии упрочнения позволяет повысить долговечность работы лемеха культиватора-плоскореза в 1,8-2,2 раза.

7. Результаты опытно-промышленных испытаний и опыт промышленного внедрения позволяет рекомендовать к широкому внедрению разработанный твердый сплав и технологию упрочнения для деталей работающих в условиях абразивного изнашивания.

Глава 5. ОБОСНОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

5.1. Экономическая эффективность восстановления лемеха плоскореза наплавкой твердых сплавов

Принятие решения о целесообразности применения в ремонтном производстве разработанной технологии осуществляется после определения его экономической эффективности в сравнении с базовым вариантом.

При расчете экономического эффекта от внедрения разработанного устройства использованы методики [43, 44, 45].

Экономическая эффективность от внедрения разработанной технологии определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_B = \left(\frac{C_{б.т.} - C_{ост.}^{б.т.}}{P_{б.т.}} - \frac{C_{н.т.} - C_{ост.}^{н.т.}}{P_{н.т.}} \right) \cdot P_{н.т.}, \quad (5.1)$$

где - \mathcal{E}_B - экономическая эффективность от внедрения разработанной технологии, руб.

$C_{б.т.}$ и $C_{ост.}^{б.т.}$ - себестоимость восстановления детали по базовой и новой технологиям соответственно, руб.

$P_{б.т.}$ и $P_{н.т.}$ - наработка детали, восстановленной по базовой и новой технологиям соответственно, тыс.км.

$C_{н.т.}$ и $C_{ост.}^{н.т.}$ - остаточная стоимость после эксплуатации детали, восстановленной по базовой и новой технологиям соответственно, руб.

Себестоимость операций восстановления определяется по формуле:

$$C = Z_3^O + Z_3^D + N_{фот} + C_a + C_{тро} + C_э + C_m + C_{пр} + C_{оу}, \quad (5.2)$$

где - Z_3^O – основная заработная плата рабочего, занятого на операции восстановления, руб.;

Z_3^D – дополнительная заработная плата рабочего, руб.;

$N_{фот}$ – сумма налогов, выплачиваемых из фонда оплаты труда, руб.;

C_a – амортизационные отчисления за установку, руб.;

$C_{\text{тро}}$ – затраты на ремонт и техническое обслуживание установки, руб.;

$C_{\text{э}}$ - затраты на силовую электроэнергию, руб.;

$C_{\text{м}}$ - затраты на материалы, используемые при восстановлении, руб.;

$C_{\text{пр}}$ - прочие цеховые расходы, руб.;

$C_{\text{оу}}$ - затраты на организацию и управление производством, руб.

Основная заработанная плата рабочего, занятого на операции восстановления, определяется по формуле:

$$З_3^0 = \frac{t_y \cdot C_{\text{ч}}}{60}, \text{ руб} \quad (5.3)$$

где - t_y - штучно-калькуляционное время выполнения операции, мин.;

$C_{\text{ч}}$ - часовая тарифная ставка рабочего, занятого на операции.

Штучно-калькуляционное время выполнения операции определяется по формуле:

$$t_y = \frac{(t_o + t_{\text{вп}}) \cdot K_{\text{по}}}{\eta_{\text{и}} \cdot \Pi_{\text{д}}}, \text{ мин} \quad (5.4)$$

где - t_o - основное время операции, мин.;

$t_{\text{вп}}$ - вспомогательное непрерывное время, мин.;

$K_{\text{по}}$ - коэффициент, учитывающий дополнительное и подготовительно-заключительное время ($K_{\text{по}} = 1,20$);

$\eta_{\text{и}}$ - коэффициент использования установки ($\eta_{\text{и}} = 0,75 \dots 0,85$);

$\Pi_{\text{д}}$ - количество деталей, одновременно подвергающихся обработке шт.

Дополнительная заработная плата рабочего составляет 30% от основной.

Сумма основной и дополнительной заработной платы составляет фонд оплаты труда (ФОТ):

$$\text{ФОТ} = З_3^0 + З_3^{\text{Д}}, \text{ руб} \quad (5.5)$$

Сумма налоговых отчислений определяется по формуле:

$$Н_{\text{ФОТ}} = K_{\text{с}} \cdot \text{ФОТ}, \text{ руб} \quad (5.6)$$

где - $K_{\text{с}}$ - коэффициент, учитывающий отчисления в фонды социального назначения ($K_{\text{с}}=0,385$).

Показатели, рассчитанные по формулам, приведенным выше, сводим в таблицу 5.1

Таблица 5.1

Рассчитанные показатели заработной платы производственных рабочих по операциям

Наименование операции	Норма времени на выполнение, мин	Часовая тарифная ставка, руб	Основная заработная плата за операцию, руб	Дополнительная заработанная плата, руб	Налоговые отчисления, руб
Шлифовальная	15	26,4	15,18	4,55	7,59
Наплавка твердых сплавов	45	47	15,6	16,2	11,4
Притирка	40	27,7	4,84	1,45	2,42

Амортизационные отчисления (C_a) определяются по формуле:

$$C_a = \frac{B \cdot a}{100 \cdot A}, \quad (5.7)$$

где - B - балансовая стоимость установки, руб.;

a - годовые нормы амортизационных отчислений в % от балансовой стоимости оборудования.

A - годовой объем ремонта, шт. ($A=350$ шт.)

Затраты на ремонт и техническое обслуживание установки составляют 3,0% от ее стоимости:

$$C_{\text{тро}} = \frac{B \cdot 0,03}{A}. \quad (5.8)$$

Затраты на силовую энергию для выполнения операций определяются по формуле:

$$C_{\text{э}} = \frac{C_{\text{э}}}{A} \cdot \frac{P \cdot \Phi_{\text{д}} \cdot K_{\text{в}} \cdot K_{\text{р}}}{\eta}, \quad (5.9)$$

где - P - максимальная мощность установки, кВт;

$\Phi_{\text{д}}$ - действительный годовой фонд времени работы установки, ч;

$K_{\text{в}}$ - коэффициент использования установки по времени ($K_{\text{в}}=0,5...0,75$);

$K_{\text{р}}$ - коэффициент использования установки по мощности ($K_{\text{р}}=0,5...0,8$);

η - средний коэффициент полезного действия. Принимается по паспорту ($\eta =0,75...0,85$);

$C_{\text{э}}$ - стоимость 1 кВт/ч электроэнергии, руб. ($C_{\text{э}}=4,5$ руб.)

Стоимостные показатели затрат приходящиеся на эксплуатацию установки по операциям сводим в таблицу 5.2

Таблица 5.2

Стоимостные показатели затрат приходящиеся на эксплуатацию установки

Наименование операции	Балансовая стоимость установки, руб.	Амортизационные отчисления, руб.	Затраты на ремонт и ТО установки, руб.	Затраты на силовую энергию, руб/час.
Шлифовальная	75000	12,69	8,65	19,30
Наплавка твердых сплавов	500000	35,7	65	94,6
Притирка	21400	3,62	2,46	17,23

Затраты на материалы, используемые при восстановлении, определяются по формуле:

$$C_{\text{м}} = \sum_{i=1}^{\lambda} g_i \cdot C_i, \quad (5.10)$$

где - λ - количество наименований материалов, используемых при операции восстановления;

g_i - норма расхода i -ого материала, кг;

$Ц_i$ - цена 1 кг i -ого материала, руб.

Норму расхода материала на деталь определяют по формуле:

$$g_i = 0,01 \cdot S \cdot h \cdot \gamma \cdot K, \text{ кг} \quad (5.11)$$

Где - S — площадь наращиваемой поверхности детали, дм^2 ;

h - толщина покрытия с учётом припуска на обработку, мм;

γ - плотность материала, г/см^3 ($\gamma = 8,9 \text{ г/см}^3$);

K -коэффициент, учитывающий неизбежные потери материала($K=1,4$).

Полученные результаты сводим в таблицу 5.3.

Таблица 5.3

Стоимость ремонтных материалов

Наименование операции	$S, \text{ см}^2$	$h, \text{ мкм}$	$G, \text{ кг}$	$Ц, \text{ руб.}$
Наплавка твердых сплавов	25,43	2	0,2	143

Прочие цеховые расходы составляют:

$$C_{\text{пр}} = 0,05 \cdot (\text{ФОТ} + \text{Н}_{\text{ФОТ}} + C_a + C_{\text{тр}} + C_{\text{э}} + C_m). \quad (5.12)$$

Затраты на организацию и управление производством составляют 200% фонда оплаты труда рабочих:

$$C_{\text{оу}} = \frac{200 \cdot \text{ФОТ}}{100}, \text{ руб.} \quad (5.13)$$

Себестоимость восстановления по базовой технологии будет равна:

$$C_{\text{б.т.}} = C_{\text{шлиф}} + C_{\text{друг.техн}} + C_{\text{притирка}}, \text{ руб.} \quad (5.14)$$

Себестоимость восстановления по разработанной технологии будет равна:

$$C_{\text{н.т.}} = C_{\text{шлиф}} + C_{\text{нап.твер.слав}} + C_{\text{притирка}} + K, \text{ руб.} \quad (5.15)$$

где - K - удельные капитальные вложения, связанные с приобретением нового оборудования.

$$K = \frac{C_k}{A}, \text{ руб} \quad (5.16)$$

где - C_k - сумма капитальных вложений.

Сумма капитальных вложений, связанных с приобретением нового оборудования определяются по формуле:

$$C_k = \sum_1^i (C_o + \mu_n + T_d), \text{ руб} \quad (5.17)$$

где C_o - стоимость приобретения оборудования;

$\mu_n = (0,2 \dots 0,25) \cdot C_o$ - затраты на монтаж и наладку оборудования;

$T_d = (0,1 \dots 0,25) \cdot C_o$ - затраты по доставке.

Остаточную стоимость детали определяют по цене металлолома:

$$C_{\text{ост.}}^{\text{б.т.}} = C_{\text{ост.}}^{\text{н.т.}} = C_{\text{л}} \cdot M, \text{ руб} \quad (5.18)$$

где $C_{\text{л}}$ - цена 1 кг металлолома, руб. ($C_{\text{л}} = 31$ руб.);

M - масса изношенной детали, кг ($M = 0,175$ кг).

$$C_{\text{ост.}}^{\text{б.т.}} = C_{\text{ост.}}^{\text{н.т.}} = 31 \cdot 0,175 = 4.42 \text{ руб}$$

Экономическая эффективность от внедрения разработанной технологии при программе ремонта 350 шт. составит:

$$\mathcal{E}_B = \left(\frac{66337 - 5,42}{100} - \frac{47665,2 - 5,42}{100} \right) \cdot 100 = 18712,22 \text{ тыс.руб.}$$

Показатели технико-экономической эффективности при восстановлении методом наплавки твердого сплава представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.4

Показатели технико-экономической эффективности при восстановлении методом наплавки твердого сплава

Показатели	Единица измерения	Значение	
		базовый вариант	новый вариант
Годовой объем восстанавливаемых деталей	шт.	300	350

Дополнительные капитальные вложения, связанные с приобретением нового оборудования	руб.		24000
Удельные капитальные вложения для восстановления деталей	руб.	5018	3159
Себестоимость восстановления детали	руб.	663,72	476,6
Наработка	мото/час	150	150
Сравнительный экономический эффект внедрения новой технологии восстановления деталей	руб.		18712,22

5.2. Выводы по главе 5

1. При внедрении новой технологии восстановления изношенного лемеха себестоимость восстановления оказалась ниже себестоимости восстановления деталей по базовой технологии даже при условии того что оборудование внедряемой технологии 2 раза дороже базовой.

2. Сравнительный экономический эффект внедрения новой технологии составил 18712,22 тыс. руб.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Для режущих элементов рабочих органов почвообрабатывающих машин почва является абразивной средой, способствующей их изнашиванию. Абразивное воздействие (абразивность) почвы является функцией многих факторов (механический состав, соотношение физической глины и физического песка, плотность, влажность и т.д.). Определенный вклад в интенсивность изнашивания режущего инструмента вносит динамическое воздействие почвы.

2. Основным показанием к выбраковке широкого класса монометаллических режущих элементов почвообрабатывающих машин является преждевременное затупление лезвия. Увеличение твердости металла не изменяет картины процесса нарастания степени затупления.

3. Упрочнение одной из рабочих поверхностей лезвия тонким слоем твердого сплава теоретически позволяет получить эффект самозатачивания, заключающегося в избирательном изнашивании неоднородного по сечению лезвия, при котором сохраняется требуемая степень остроты режущей части.

4. На практике нормальное самозатачивание наблюдается только в узком интервале изменения свойств почв. При уменьшении давления на переднюю грань наблюдается перезатачивание лезвия с обламыванием твердых участков, при увеличении - затупление режущей кромки. Возникает необходимость расширения диапазона применимости принципа самозатачивания для более широкого класса почв с изменяющимися свойствами.

5. Разработана методика испытаний износостойкости сплавов.. Она позволяет воспроизводить процессы абразивного износа в зонах контакта «почва-упрочняющее покрытие» и «почва-основной металл».

6. Проведены исследования испытательного ряда, составленного из сплавов-представителей различных структурных групп в двух режимах абразивного изнашивания. Было установлено, что для расширения диапазона

применимости принципа самозатачивания наиболее перспективны сплавы с метастабильным аустенитом и дополнительным карбидным упрочнением.

7. Был получен оптимальный по составу наплавочный сплав типа 150X12Г7Ф2. Он несколько уступает по износостойкости сплаву сормайт, широко используемому для упрочнения режущих элементов почвообрабатывающих машин, однако заметно превосходит его по прочностным параметрам и способности матрицы к упрочнению.

8. Разработана порошковая проволока для автоматической наплавки ПП-150X12Г7Ф2. Микроструктура наплавленного металла представляет собой дендриты метастабильного аустенита в ледебурите, причем карбидные выделения располагаются также по объему дендритов. Сплав отличается высокой склонностью к фазовому наклепу.

9. Разработана технология нанесения упрочняющего покрытия на лемехи лап культиваторов-плоскорезов, которая апробирована на практике. Ее применение позволяет повысить долговечность работы сменных режущих органов почвообрабатывающего агрегата АПК 3-01 в 1,8-2,2 раза.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мазитов Н.К. Машины почвоводоохранного земледелия. М.: Россельхозиздат, 1987.-96 с.
2. Циммерман М.З. Рабочие органы почвообрабатывающих машин. М.: Машиностроение, 1978.-295 с.
3. Петров И.В., Домбровская И.К. Повышение долговечности рабочих органов дорожных машин наплавкой. М.: Транспорт, 1970. - 104 с.
4. Синеоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. М.: Машиностроение, 1977.-328 с.
5. Комаристов В.Е., Дунай Н.Ф. Сельскохозяйственные машины. Учебник и учебное пособие. М.: Колосс, 1984.-478 с.
7. Ткачев В.К. Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин. М.: Машиностроение, 1971.- 264 с.
8. Севернее М.Н. Износ деталей сельскохозяйственных машин. Л.: Колосс, 1972. -288 с.
9. Унифицированные культиваторы //Трактора и сельскохозяйственные машины 2000. -№3. -С.7-8.
10. Черноиванов В.И., Андреев В.П. Восстановление деталей сельхозмашин. М.: Колосс, 1983. -175 с.
11. Ачкасов К. А. Прогрессивные способы ремонта сельскохозяйственной техники. М.: Колосс, 1984. - 276 с.
12. Мочалов И.И., СИ. Костенко, В.А. Васильев Ремонт почвообрабатывающих машин М.: Колосс, 1984. - 376 с.
13. Ермаков Л.С. Исследование изнашивания режущих органов почвообрабатывающих машин на различных почвах. Автореферат канд. диссертации Харьков 1960
14. Васильев СП., Ермолов Л.С. Об изнашивающей способности почв // Повышение долговечности рабочих органов деталей почвообрабатывающих машин. М.: Машгиз, 1960.-С. 35-39.

15. Петров И.В. Износостойкая наплавка в ремонте машин: Приложение к журналу - приложению «Техника в сельском хозяйстве». М. Агропромиздат 1988-118с.

16. Рабинович А.Ш. Элементарная теория и методика проектирования самозатачивающихся почворезущих лезвий.// Трактора и сельхозмашины. 1961.-№10.-С 24-27.

17. Рабинович А.Ш. Самозатачивающиеся плужные лемехи и другие почворезущие детали машин. М.:ГОСНИИТИ, 1962. - 106 с.

18. Игнатъев А.М. Способ приготовления режущих и колющих инструментов из слоев металлов и сплавов разной твердости. Патент №14451. 1926.

19. Бернштейн Д.Б. Оценка возможности самозатачивания двухслойных почворезущих элементов при абразивном изнашивании, //Трактора и сельхозмашины. 1985.- №6.- С.31-34.

20. Сучков О.К. Износостойкая наплавка деталей. М.: Колосс, 1974.- 108с.

21. Хрущев М.М., Бабичев М.А. Исследование изнашивания стали

22. Тененбаум М.М. Сопротивление абразивному изнашиванию. М.: Машиностроение, 1976.-271с

23. Валовик Е. Л. Справочник по восстановлению деталей. М.: Колос, 1981. -351 с.

24. Курчаткин В.В., Тельнов Н.Н., Ачкасов К.А. и др.; Под ред. Курчаткина В.В. Надежность и ремонт машин. М.: Колос, 2000. 776 с.

25. Ремонтно-технологическое оборудование и средства технического оснащения / ГОСНИТИ; [Электронный ресурс – www.gosniti.ru].

26. Галенко И.Ю. Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Технология ремонта машин» - Кинель. СГСХА, 2006. 88 с.

28. Багрянский К. В., Добротина З. А., Хренов К. К. Теория сварочных процессов. М.: Высшая школа, 1976. 424 с.

29. Байкалова В. Н. Восстановление деталей сельскохозяйственных машин, М.: Колос, 1979. 81 с.
30. Ерохин А.А. Основы сварки плавлением. Машиностроение, 1973. 477 с.
31. Горячкин В. Основы построения сельскохозяйственных машин и орудий: силы инерции и их уравнивание / В. Горячкин. – М.: Типография П. П. Рябушинского, 1914. – 163 с.
32. Огрызков, Е. П. Основы научных исследований с обработкой результатов на ЭВМ / Е. П. Огрызков, В. Е. Огрызков. – Омск: ОмГАУ, 1996. – 122 с.
33. Влияние почвенных сред на абразивное изнашивание металлов Фененко А. Н, Агулов И.И., Халявка Н.П. Научно-координационное совещание по абразивному изнашиванию.//Москва 1971.- С 88-89.
34. Кузнецов В.И. Надежность и эффективность в технике. Т-8 Эксплуатация и ремонт. М.: Колосс, 1990. -373 с.
35. Венци С, Прист А., Мей М. Влияние инерционной нагрузки при ударных испытаниях с осциллографированием //В кн. «Ударные испытания металлов. - М.: Мир, 1973. - С. 157 - 174.
36. Воротников В.Я., Иванов СВ., Артеменко Ю.А. Методика определения стойкости наплавочных сплавов к ударным нагрузкам. - Автоматическая сварка. - 1983.- № 9. - С. 61 - 62.
37. Кречмар Э. Методы испытания наплавленного металла //Теоретические и технологические основы наплавки. Свойства и испытания наплавленного металла.-Киев : ИЭС им. Е.О. Патона, 1979. -С. 3-22.
38. Новик Ф.С, Арсов Я.Б. Оптимизация процессов технологии машиностроения методами планирования экспериментов. - М.: Машиностроение; София: Техника, 1980.- 304 с.
39. Тамразов А.М. Планирование и анализ регрессионных экспериментов в технологических исследованиях. - Киев: Наукова думка, 1987. - 176 с.

40. Пономаренко В.П., Шварцер А.Я., Стойко В.П. Высокомарганцовистая сталь для электрошлаковой наплавки// Металловедение и термическая обработка металлов. - 1982.- № 10.- С. 57-60.
41. Износостойкость и структура твердых наплавов. / М.М. Хрущев, М.А. Бабичев, Е.С. Беркович и др. - М.: Машиностроение, 1971. - 95 с.
42. Степанов Б.В., Яковлев В.В. Электродные материалы для сварочных и наплавочных работ // Сварочное производство. - 1983. -№7.- СЮ-12.
43. Методические указания по определению себестоимости восстановления детали, узла, агрегата, машины. М.: МИИСП, 1983. - 24 с.
44. Методические указания по определению экономической эффективности внедрения новой техники, изобретений и рационализаторских предложений на ремонтных предприятиях. М.: МИИСП, 1981. -19с.
45. Методические рекомендации по комплексной оценке эффективности мероприятий, направленных на ускорение научно-технического процесса. М.: ГКНТ и АН СССР, 1988. - 18 с.