

«Сейфуллин окулары – 16: Жаңа формациядағы жастар ғылыми – Қазақстанның болашағы» атты халықаралық ғылыми-теориялық конференциясының материалдары = Материалы Международной научно-теоретической конференции «Сейфуллинские чтения – 16: Молодежная наука новой формации – будущее Казахстана». - 2020. - Т.1, Ч.2 - С.70-75

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СМЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВОРЕЖУЩИХ МАШИН**

*Касымов М.К.*

Обработка почвы является одним из самых энерго- и материалоемких процессов в сельскохозяйственном производстве. Практика показывает, что на распашку, культивирование и дискование почвы приходится до 45-50% расхода горюче-смазочных материалов в сельском хозяйстве, а ежегодное потребление сменных деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин составляет сотни миллионов долларов. Поэтому снижение эксплуатационных затрат при обработке почвы и повышение износостойкости деталей и узлов является важнейшим условием снижения себестоимости продукции агропромышленного комплекса, повышения его эффективности и конкурентоспособности.

Перспективным направлением снижения эксплуатационных затрат при обработке почвы и повышения износостойкости является упрочняющая термическая обработка рабочей поверхности сменных деталей высококонцентрированным потоком энергии - плазменной дугой. Образующиеся при сверхскоростном нагреве и охлаждении ультрамелкие структуры обладают высокой твердостью (износостойкостью), прочностью и сопротивлением разрушению. В этой связи следует отметить, что сегодня к прочности материалов предъявляются несколько иные требования, смысл которых сводится к обязательности сочетания высокой прочности и твердости с достаточным запасом пластичности и ударной вязкости. Это вызывается острой необходимостью повышения надежности и долговечности почвообрабатывающей техники. Для современных условий обработки почвы необходимо обеспечить прочность материала изделия 1500-1800МПа. Ударная вязкость должна соответствовать значениям не менее 0,8-1,0 МДж/м<sup>2</sup>. Для снижения интенсивности абразивного изнашивания необходимо обеспечить максимально возможную твердость поверхности – 60-65 HRC. Такой комплекс прочности, ударной вязкости и твердости традиционными технологиями упрочняющей термической обработки (закалка + отпуск) не обеспечиваются.

Отсюда следует, что проблема продления эксплуатационного ресурса сменных деталей почво-режущих машин (ПРМ) является значимой в экономическом и ресурсосберегающем аспектах.

**Материал и методика исследований**

Сменные детали рабочих органов сельскохозяйственных машин традиционно изготавливают из средне или высокоуглеродистых сталей – Ст.6, 65Г, У8 и др.

В настоящей работе поверхностному плазменному упрочнению подвергались диски свекло-уборочных комбайнов из марганцовистой стали 65Г, химический состав и температуры критических точек которой приведен в таблице 1 (ГОСТ14959-99).

Таблица 1- Химический состав (%) стали и температуры критических точек, °С

C	Mn	Si	P	S	Ni	Cu	Ac <sub>1</sub>	Ac <sub>3</sub>	Ar <sub>1</sub>	Ar <sub>3</sub>	M <sub>H</sub>
0,63	0,1,12	0,35	0,031	0,029	0,25	0,19	721	745	620	720	270

Механические свойства стали, подвергнутой упрочняющей термической обработке (закалка с температуры 800-820 °С в масло с последующим отпуском при 340-380 °С, охлаждение на воздухе) приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Механические свойства стали

$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta_5$ , %	$\Psi$ , %	KCU Дж/см <sup>2</sup>	HRC мм
1220	1470	5,0	38	69	49

Микроскопические исследования проводили на оптическом микроскопе "Neophot" при увеличении x200 на микрошлифах, вырезанных в поперечном направлении из сегмента с условием сохранения упрочненного слоя. Изучали микроструктуру, глубину и качество упрочненных поверхностей.

Ударная вязкость KCV определялась на стандартных образцах с V-образным надрезом, вырезанных из листового проката толщиной 10 мм. Упрочненная зона глубиной 3,0...3,5 мм располагалась на верхней грани образцов вдоль надреза. Такая конструкция образцов позволяла имитировать разрушения дисков в процессе эксплуатации – зарождение трещины в упрочненной зоне и последующее ее распространение в сталь с исходной структурой. Испытания на абразивную износостойкость проводились по методике Бринелля-Хаворта при удельном давлении на образец 17,5 МПа.

В качестве абразива использован корунд зернистостью 0,2...0,5 мм. Плазменная модификация плоских образцов 50x60x10 мм осуществлялась на одной из плоских граней с нанесением упрочненных зон поперек направлению трения. Коэффициент износостойкости  $K_n$  определялся как отношение  $\Delta P_{исх.} / \Delta P_{упр.}$ , где  $\Delta P_{исх.}$  и  $\Delta P_{упр.}$  потери в массе образцов при трении в течение 0,5 часа соответственно в исходном и упрочненном состояниях.

#### Полученные результаты и их обсуждение

Как отмечалось, характер и интенсивность изменения формы и размеров сменных деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин в процессе его абразивного изнашивания в значительной степени определяют

эксплуатационный ресурс сменных деталей почворезущих машин, а также уровень энергетических затрат и качество технологических операций, выполняемых в сельскохозяйственном производстве. Работоспособность сменных деталей сельхозмашин зависит от твердости и износостойкости его рабочей поверхности, а также от внешних факторов – свойств обрабатываемой абразивной среды (почвы), ее исходной однородности, влияния изменяющихся исходных погодных условий, влияния агрессивных сред (влаги, солей и т.д.)

Наиболее распространенным методом их упрочнения является объемная упрочняющая термическая обработка: закалка + отпуск. Кроме абразивного износа рабочие органы зачастую подвержены воздействию значительных динамических нагрузок. Поэтому отпуск в процессе объемной упрочняющей термической обработки обычно выполняют средне или высоко температурным (300...600 °С) отпуском, чтобы обеспечить достаточную вязкость стали. Повышение температуры отпуска закаленной стали приводит к пропорциональному снижению ее износостойкости. Поэтому для сменных деталей, работающих в условиях интенсивного ударно-абразивного изнашивания, эффективно сохранение высокой исходной вязкости основного металла и повышение износостойкости рабочей кромки методами поверхностного упрочнения, из которых применительно к рабочим органам сельхозмашин распространение получили: закалка ТВЧ, газопламенная или индукционная наплавка высоколегированными материалами (электродами). Перспективно также поверхностное плазменное и лазерное упрочнение.

Возможность повышения комплекса эксплуатационных свойств сталей, в том числе углеродистых, путем плазменной модификации структуры позволяет рекомендовать этот способ для упрочнения почвообрабатывающих машин [1].

Примером промышленного использования путем плазменной модификации структуры на предприятиях сельскохозяйственного машиностроения может являться, опробованная нами, технология плазменного поверхностного упрочнения дисков свекло-уборочных комбайнов из низколегированной марганцовистой стали 65Г. Плазменная модификация осуществлена без оплавления поверхности с наложением кольцевой упрочненной зоны по длине окружности режущей кромки. Эксперименты показывают, что особенности фазовых и структурных превращений при плазменной обработке массивных образцов конструкционных сталей 65Г заключаются в изменении кинетики превращений.

Как известно, при сверхбыстрых скоростях нагрева в ходе плазменной закалки фазовые превращения смещаются в область высоких температур, что сильно влияет на кинетику возникновения и роста зародышей новой фазы.

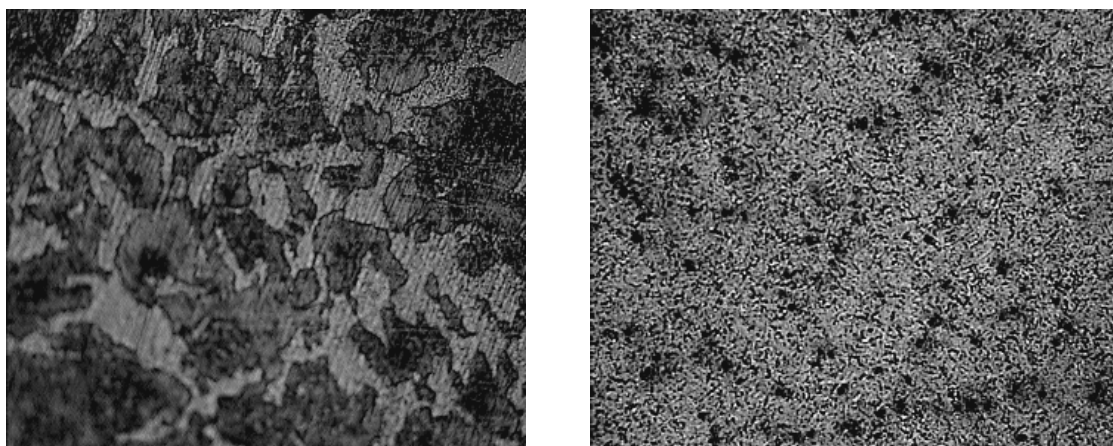
Соотношение между скоростью зарождения и скоростью роста зародышей меняется: по мере повышения температуры зерна новой фазы (аустенита) зарождаются быстрее, чем их рост, наблюдается все большее количественное опережение скоростью зарождения скорости роста. В

результате по мере смещения превращения  $\alpha \rightarrow \gamma$  в область высоких температур все большую роль играет процесс зарождения, а рост зародышей в значительной степени подавляется. В итоге формируется мелкозернистый аустенит, который превращается в высокодисперсный бесструктурный мартенсит.

Регулируя количество введенной энергии, можно создать такие условия превращения  $\alpha \rightarrow \gamma$ , когда единственной возможностью перехода исходных фаз окажется процесс зарождения. При этом открывается возможность получения сверхмелкого аустенита, когда размеры зерен будут соизмеримы с критическими размерами при температуре, достигаемой в процессе скоростного нагрева. Это используется в целях улучшения физико-механических и служебных свойств упрочняемой стали после поверхностной плазменной закалки. Кроме того, особенности упрочнения сплавов при быстром нагреве связаны с тем, что превращения  $\alpha \rightarrow \gamma$  в них идет в неравновесных условиях в отличие от традиционных методов термического упрочнения с медленным нагревом.

При сверхбыстром нагреве отсутствует выдержка, необходимая для протекания превращения  $\alpha \rightarrow \gamma$ , растворения карбидов с последующим перераспределением углерода и легирующих элементов. Поэтому образующийся аустенит имеет разные концентрации растворенных атомов углерода и легирующих элементов в отличие от гомогенного распределения при медленном печном нагреве [2,3].

Следует отметить, что заточенный режущий клин диска имеет малую толщину, поэтому для улучшения естественного теплоотвода в массивный основной металл при плазменном упрочнении диски устанавливаются под углом  $45^\circ$ . Скорость охлаждения режущей кромки в процессе плазменной модификации достаточно высокая, что обеспечивает получение в упрочненной зоне высокодисперсной мартенситной структуры (рисунок 1).



а)

б)

Рисунок 1- Микроструктура стали 65Г в нормализованном (а) и закаленном (б) состояниях,  $\times 200$ .

При оптимизации технологии упрочнения дисков наряду с металлографическими исследованиями проводились испытания на ударную вязкость и абразивную износостойкость образцов из стали 65Г в следующих структурных состояниях:

- нормализация (состояние поставки),
- объемная закалка от 850 °С в масло (базовая технология),
- объемная закалка с отпуском при 300 °С продолжительностью 1 час,
- плазменная модификация,
- плазменная модификация с отпуском при 300 °С также продолжительностью 1 час.

Результаты замеров твердости и испытаний приведены в таблице 3.

Таблица 3 Эксплуатационные свойства образцов при различных вариантах упрочнения

№ п/п	Варианты упрочнения	Микро-структура	Показатели твердости, удар - ной вязкости, износостойкости		
			HV	KCV, Дж/см <sup>2</sup>	K <sub>и</sub>
1	Нормализация (исходное состояние)	Ф+П	240...255	20,0	1,0
2	Объемная закалка	M <sub>з</sub>	670...690	7,0	1,22
3	Объемная закалка + отпуск	T+C	390...410	8,8	1,10
4	Плазменная модификация	M <sub>б</sub>	850...870	9,6	1,65
5	Плазменная модификация + отпуск	(T+C) в.д.	505...520	11,5	1,36

*Примечание. Ф+П - феррито-перлит, M<sub>з</sub> – мартенсит закали, T+C - троостит + сорбит, M<sub>б</sub> – мартенсит бесструктурный, (T+C) в.д. - троостит + сорбит высокодисперсный.*

Как видно из таблицы 3, что сталь 65Г в нормализованном состоянии имеет феррито-перлитную структуру, наиболее высокую ударную вязкость и наиболее низкую твердость и износостойкость. Плазменная модификация способствует снижению ударной вязкости в 2 раза и повышению износостойкости на 65 %. Объемная закалка снижает ударную вязкость почти в 3 раза и повышает износостойкость лишь на 22%.

Резкое охрупчивание стали 65Г после объемной закали обусловлено получением крупногольчатой мартенситной структуры, которое, несмотря на значительное повышение твердости, не способствует существенному увеличению абразивной износостойкости. Более благоприятное сочетание эксплуатационных свойств стали 65Г после плазменной модификации связано формированием в упрочненной зоне высокодисперсной мартенситной структуры с твердостью, значительно превышающей уровень, достигаемой при закали в печи. При этом особенно важно отметить, что одновременно с повышением износостойкости происходит увеличение

вязкости (по сравнению с объемной закалкой) – KCV после плазменной модификации на 30% выше, чем после объемной закалки [4].

Высокая твердость объемно-закаленных углеродистых сталей послужила основанием для рекомендации о нецелесообразности увеличения твердости свыше 60HRC (745HV) при значительных ударных нагрузках на лезвие сменных деталей рабочих органов. Однако обеспечение локального упрочненного слоя и совместное его нагружение в процессе эксплуатации с пластичным исходным металлом позволяет отойти от этой рекомендации

Для тяжело-нагруженных сменных деталей рабочих органов почво-режущих машин (например, в условиях обработки каменистой почвы) дополнительное повышение вязкости достигается применением после плазменной модификации объемного отпуска. В этом случае твердость и износостойкость значительно выше по сравнению с объемной закалкой и последующим отпуском (табл.3).

Регулирование формы и размеров упрочненной зоны за счет режимов термообработки позволяет при необходимости реализовать эффект самозатачивания лезвий сменных деталей в процессе эксплуатации, заключающийся в таком избирательном износе неоднородного по сечению лезвия, при котором сохраняется необходимая форма и режущие свойства.

Более твердый упрочненный слой изнашивается менее интенсивно и, следовательно, выступает вперед, образуя режущую кромку лезвия. Для реализации эффекта самозатачивания твердость упрочненного слоя должна быть не менее в 3 раза выше твердости исходного металла, что достигается при плазменной модификации стали 65Г в нормализованном состоянии [5].

Плазменная модификация дисков может осуществляться как в непрерывном режиме (по периметру режущей кромки), так и с нанесением дискретных участков заданных размеров и с заданным шагом, что благоприятно сказывается на работоспособности дисков и качестве обработки почвы.

Инновационная технология плазменной модификации дисков свеклоуборочных комбайнов характеризуется высокой производительностью - время упрочнения одного диска составляет 10 мин., а объемной термообработки (закалка + отпуск) – около 2 часов.

## Заключение

1. Для продления эксплуатационного ресурса тяжелонагруженных быстроизнашивающихся деталей рациональным по параметрам универсальности, доступности и экономической эффективности является поверхностная плазменная закалка. Не изменяя параметров шероховатости поверхности, такая упрочняющая термообработка легко встраивается технологический процесс восстановления деталей, является финишной операцией, малозатратна, достаточно производительна и позволяет эффективно увеличить их эксплуатационную стойкость.

2. Сравнение результатов исследованных пяти вариантов термического упрочнения плоских образцов из стали 65Г показывает, что лучшее сочетание высоких прочностных, пластических и вязких свойств для тяжело нагруженных сменных деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин обеспечивает плазменная модификация с отпуском при 300 °С.
3. Закономерности процесса структурообразования при плазменной закалке подчиняются общим законам формирования структур при термической обработке. При сверхбыстрых скоростях нагрева, имеющих место при плазменной закалке, фазовые превращения смещаются в область высоких температур, и этот термически активируемый процесс сильно влияет на кинетику возникновения и роста зародышей новой фазы.
4. Глубина упрочненных структурных зон при плазменном воздействии зависит от параметров нагрева и определяется механизмом и кинетикой фазовых превращений в неравновесных состояниях. Соотношение между скоростью зарождения аустенита и скоростью их роста меняется; по мере повышения температуры процесс зарождения аустенита происходит быстрее, чем ускорение их роста. Это приводит к формированию мелкозернистого аустенита, который превращается высокодисперсный мартенсит с высокими прочностными характеристиками.

#### Список литературы

1. Соснин Н.А., Ермаков С.А., Тополянский П.А. Плазменные технологии. Руководство для инженеров, Санкт-Петербург: Изд-во Политехнического университета, 2013.-406 с.
2. Канаев А.Т., Богомолов А.В. Структурообразование в плазменно-упрочненных металлических материалах.- Астана: Изд-во фирмы «Политон», 2014.-184 с.
3. Канаев А.Т., Бакижанова Д.С., Канаев А.А., Кусаинова К.Т. Изменение структуры и свойств бандажных колес локомотивов после поверхностного плазменного упрочнения. Технологии упрочнения, нанесения покрытий и ремонта: теория и практика, часть 2, Материалы международной научно-практической конференции.- Санкт-Петербург: Изд-во Политехнического университета, 2013.- с.158-162
4. Тополянский П.А., Соснин Н.А., Ермаков С.А., Слюсарев В.В. Современные ресурсосберегающие технологии и материалы плазменных покрытий. // Metall Engineering.-1996.-№ 2.-с.6-8
5. Канаев А.Т., Бакижанова Д.С., Жусин Б.Т. Плазменное упрочнение сменных деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин. Materialy V111 Mezinárodní vědecko-praktická konference “VZNIKMO-DERNI VEDECKE - 2012”, Praha Publishing House “ Education and Science” s.r.o. 2012, p. 83-87
1. Методические рекомендации по выполнению докторских диссертаций для специальности СиС, Канаев А.Т., Жибек Н., Ибраева Ж.

2.Методические рекомендации по выполнению магистерских проектов для специальности СиС, Канаев А.Т., Ибраева Ж.

3.Временная технологическая инструкция по производству стержневой арматурной стали, Канаев А.Т., Сарсембаева Т.Е.

4.Методические указания к лабораторным занятиям по курсу «Метрология»  
Определение микротвердости портативным твердомером Канаев А.Т.,  
Ибжанова А.А., Сарсембаева Т.Е.,