

С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университетінің Ғылым жаршысы (пәнаралық) = Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С.Сейфуллина (междисциплинарный). - 2018. - №1 (96). - С.152-157

ПЛАЗМЕННАЯ ЗАКАЛКА СМЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВОРЕЖУЩИХ МАШИН

**А.Т. Канаев, П.А. Тополянский,
Б.Т. Жусин, А.А Гуляренко**

Аннотация

На основе собственных исследований и анализа литературных источников показано, что для продления эксплуатационного ресурса тяжело нагруженных деталей рациональным по параметрам универсальности, доступности и экономической эффективности является поверхностная плазменная закалка. Не изменяя параметров шероховатости поверхности, такая упрочняющая термообработка легко встраивается в технологический процесс восстановления деталей, является финишной операцией, малозатратна, достаточно производительна и позволяет эффективно увеличить эксплуатационную стойкость сменных деталей рабочих органов сельхозмашин.

Сравнением результатов исследованных пяти вариантов термического упрочнения плоских образцов из стали 65Г обосновано, что лучшее сочетание высоких прочностных, пластических и вязких свойств для тяжело нагруженных сменных деталей рабочих органов почворежущих машин обеспечивает плазменная закалка с отпуском при 300 °С.

Подтверждено, что при сверх быстрых 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. Соотношение между скоростью зарождения аустенита и скоростью их роста меняется; по мере повышения температуры процесс зарождения аустенита происходит быстрее, чем ускорение их роста, наблюдается все большее количественное опережение скорости зарождения над скоростью роста. Это приводит к формированию мелкозернистого аустенита, который превращается в высокодисперсный мартенсит с высокими прочностными характеристиками.

Ключевые слова

Плазма, упрочнение, сменные детали, структура, свойства износостойкость, твердость, ударная вязкость.

Введение

Обработка почвы является одним из самых энерго и материалоемких процессов в сельскохозяйственном производстве. Так, по оценке специалистов сельского хозяйства, 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 заметим, 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. Практика показывает, что в современных условиях обработки почвы необходимо, чтобы прочность материала изделия обеспечивалась на уровне 1500-1800 МПа. Ударная вязкость должна соответствовать значениям не менее 0,8-1,0 МДж/м². 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 [1].

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

Материал и методика проведения 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

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

С	Mn	Si	P	S	Ni	Cu	Ac ₁	Ac ₃	Ar ₁	Ar ₃	M _n
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 масле с

умарганцовистой стали 65Г, химический состав и температуры критических точек которой приведен в таблице 1 (ГОСТ14959-99).

последующим отпуском при 340-380 °С, охлаждение на воздухе) приведены в таблице 2

Таблица 2 - Механические свойства исследованной стали

σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %	Ψ , %	KCU, Дж/см ²	HRC, мм
1220	1470	5,0	38	69	49

Микроскопические исследования проводили на оптическом микроскопе "Neophot" при увеличении х200 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 $K_{и}$ 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 почвообрабатывающих 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 термическая обработка: закалка + отпуск. Кроме абразивного износа рабочие органы зачастую подвержены воздействию значительных динамических нагрузок. Поэтому отпуск в процессе объемной термической обработки обычно выполняют средне или высоко-температурным (300...600°C) 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, важно сохранение высокой исходной вязкости основного металла и повышение износостойкости рабочей кромки методами поверхностного упрочнения. В этой связи заметим, что для достижения высокой вязкости и одновременного повышения износостойкости (твердости) применительно к сменным деталям рабочих органов сельхозмашин распространение получили: закалка ТВЧ, газопламенная или индукционная наплавка высоколегированными материалами (электродами). Как выше отмечалось, перспективно и эффективно поверхностное плазменное упрочнение, обеспечивающее высокий комплекс прочности, ударной вязкости и твердости, недостижимый традиционными технологиями упрочняющей термической обработки (закалка + отпуск) [2,3].

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

Примером промышленного использования путем плазменной

модификации структуры на предприятиях сельскохозяйственного машиностроения может являться, опробованная нами, технология плазменного поверхностного упрочнения дисков свеклоуборочных 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.

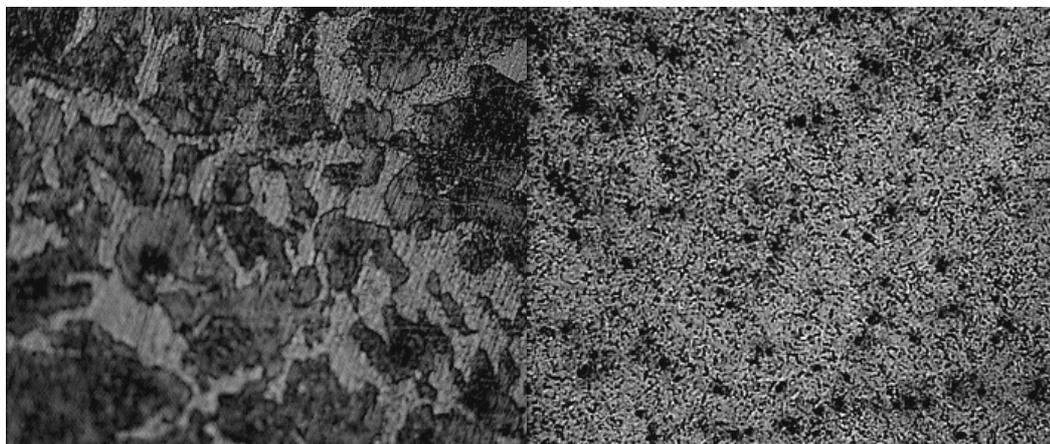
Регулируя количество введенной энергии, можно создать такие условия превращения $\alpha \rightarrow \gamma$, когда единственной возможностью перехода исходных фаз окажется процесс зарождения. При этом открывается возможность получения сверхмелкого аустенита, когда размеры зерен будут соизмеримы с критическими 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 [4].

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°. 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, х 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 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	Микроструктура	Показатели твердости, ударной вязкости, износостойкости		
			HV	KCV, Дж/см ²	K _и
1	Нормализация (исходное состояние)	Ф+П	240...255	20,0	1,0
2	Объемная закалка	М ₃	670...690	7,0	1,22
3	Объемная закалка +	Т+С	390...410	8,8	1,10

	отпуск				
4	Плазменная модификация	M_6	850...870	9,6	1,65
5	Плазменная модификация + отпуск	(Т+С) в.д.	505...520	11,5	1,36

Примечание: Ф+П - феррито-перлит, M_3 – мартенсит закали, Т+С - троостит + сорбит, M_6 – мартенсит бесструктурный, (Т+С) 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 крупноигльчатой 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 закали [5].

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.

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 [6].

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. Плазменная закалка рабочей поверхности сменных деталей рабочих органов почворежущих машин является перспективным направлением повышения износостойкости материалов и снижения эксплуатационных затрат при обработке почвы. Образующиеся при сверхскоростном нагреве и охлаждении ультрамелкие структуры обладают высокой твердостью (износостойкостью), прочностью и сопротивлением разрушению.

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 почворежущих машин обеспечивает плазменная модификация с отпуском при 300 °С. Такое сочетание термической обработки обеспечивает существенно высокую твердость и износостойкость по сравнению с объемной закалкой и последующим отпуском.

3. Плазменная модификация дисков свеклоуборочных комбайнов характеризуется высокой производительностью - время упрочнения одного диска

составляет 10 мин., а объемной термообработки (закалка + отпуск) – около 2 часов.

Список литературы

1. Шилов И.Н. и др., Повышение работоспособности деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин // Минск. Белорусский аграрно-технический университет.– 2010.– с.320

2. Черникович В.Н., Ласковцев А.П., Гуринович В.И. и др. Особенности упрочнения рабочих поверхностей почвообрабатывающих машин при комплексном использовании высококонцентрированных потоков энергии. Материалы VI международной научно-технической конференции «Современные методы и технологии создания и обработки материалов». Минск.- 2011. - с. 402-407

3. Тюфтев А.С., Мордынский В.Б., Желобцев Е.А. Оценка износостойкости высокоуглеродистых сталей в условиях сухого трения и абразивного изнашивания // Сталь. – 2015. № 10. – с.55-60.

4. Канаев А.Т., Богомоллов А.В. Структурообразование в плазменно-упрочненных металлических материалах. Астана, Изд-во фирмы «Политон».- 2014.- с.184.

5. Канаев А.Т., Бакижанова Д.С., Жусин Б.Т. Плазменное упрочнение сменных деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин. Materialy VIII Mezinarodni vedecko-prakticka konference “VZNIKMO-DERNI VEDECKE - 2012”, Praha Publishing House “Education and Science” s.r.o. 2012, p. 83-87.

6. Гуринович В.И., Голубев В.С., Романчук И.А. Поверхностное термическое упрочнение стали 65Г методом плазменного воздействия. Сборник материалов МНТК «Современные методы и технологии создания и обработки материалов». Минск.- 2009. – с.268-271.

Түйін

Ауыржүктелген бөлшектердің эксплуатациялық ресурсын ұзартуда беттік плазмалық шынықтыру параметрлерінің универсалдығы, қолжетімділігі және экономикалық тиімділігі жағынан рационалды болып табылатыны көрсетілген. Мұндай беріктендіруші термиялық өңдеу, беткі қабатының кедір-бұдырлығын өзгертпей, бөлшектерді қайтадан орнына келтіру технологиясына жеңіл енгізіледі. Шығымы аз, соңғы операция, еңбекөнімділігі жеткілікті және ауылшаруашылық машиналарының жұмыс органдарының ауыспалы бөлшектерінің эксплуатациялық тұрақтылығын тиімді көрсетеді.

65Г болатынан жасалған жалпақ үлгілердің термиялық беріктендірудің зерттелген 5 вариантының нәтижелерін салыстыру арқылы топырақөңдеуші машиналардың жұмыс органдарының ауыспалы бөлшектерінің жоғары

беріктік және созылмалылық қасиеттерінің жақсы үйлесуін плазмалық шынықтыру мен 300°C-де босату өамамасыз ететіні негізделген.

Плазмалық шынықтыруда болатын өте тез қыздыру жылдамдығында фазалық түрлендірулер жоғары температураға қарай ығысады және мұндай термиялық үрдіс жаңа фазаның пайда болуы мен өсуінің кинетикасына зор әсер етеді. Аустениттің пайда болу жылдамдығы мен өсу жылдамдығының арақатынасы өзгереді. Температура көтерілген сайын аустениттің пайда болу жылдамдығы оның өсу жылдамдығынан тезірек жүреді, сол себепті аустениттің пайда болу жылдамдығы өсу жылдамдығынан сандық жағынан үнемі алда болып отырады. Бұл өз кезегінде ұсақ-түйіршікті аустениттің қалыптасуына, оның жоғары дисперсті, әрі беріктігі жоғары мартенситке түрленуіне әкеледі. Сәйкесінше бөлшектердің қажалысы тозуға төзімділігі артады.

Summary

On the basis of research and analysis of literature sources, it is shown that the surface plasma hardening is rational in terms of universality, availability and economic efficiency for prolongation of the service life of heavy loaded parts. Without changing the parameters of surface roughness, such a hardening heat treatment is easily integrated into the technological process of restoring parts, is the finish operation, low-cost, sufficiently productive, and allows to effectively increase the operational stability of the replacement parts of the working organs of agricultural machinery.

Comparison of the results of the investigated five variants of thermal hardening of flat specimens made of 65G steel is based on the fact that the best combination of high strength, plastic and viscous properties for heavy-duty replaceable parts of the working organs of soil-cutting machines provides plasma hardening with tempering at 300 ° C.

It has been confirmed that at ultrafast heating rates that occur during plasma quenching, phase transformations are shifted to high temperatures and this thermally activated process strongly influences the kinetics of nucleation and growth of new phase nuclei. The relationship between the rate of austenite nucleation and the rate of their growth varies; As the temperature rises, the process of austenite formation occurs faster than the acceleration of their growth, an increasing quantitative advance of the nucleation rate over the growth rate is observed. This leads to the formation of a fine-grained austenite, which turns into a highly disperse martensite with high strength characteristics.