

КАРБОВИБРОДУГОВОЙ МЕТОД УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ АБРАЗИВНОГО ИЗНОСА НАПЛАВКОЙ МЕТАЛЛОКЕРАМИКИ (КВДНМК)

В.П. Лялякин, докт. техн. наук, проф., Н.В. Титов, канд. техн. наук, Н.Н. Литовченко, канд. техн. наук, Р.С. Ничипоренко (ГНУ ГОСНИТИ Россельхозакадемии, тел.8 (495) 371-69-00, e-mail: s10gosniti@mail.ru)

Аннотация. Приведено описание разработанного метода карбовибродугового упрочнения деталей машин, работающих в условиях абразивного износа наплавкой металлокерамики (КВДНМК). Приведен расчет ударной вязкости для исследуемых покрытий. Показаны результаты сравнительных испытаний образцов, полученных методом карбовибродугового упрочнения и другими методами.

Ключевые слова: карбовибродуговое упрочнение, абразивный износ, ударная вязкость.

Метод КВДНМК, разработанный в ГНУ ГОСНИТИ, обладает рядом преимуществ перед другими: упрочнение идет двумя путями – наплавка высокоизносостойких металлокерамических композитов, содержащих консолидированные сплавы, представляющие собой твердые растворы (карбиды, бориды, нитриды) и армирующие керамические сверхтвердые включения из карбида бора, корунда и карборунда (расплавленных Al_2O_3 , SiO_2 , B_4C); второй путь – легирование бором (В) и азотом (N) вследствие диссоциации боронитросодержащих компонентов, а также диффузии в стальную матрицу наплавленного слоя и подложку углерода (С) вследствие сублимации графитового электрода при горении дуги.

На микроструктурах (рис. 1,2) четко проявляются три зоны упрочненного слоя методом КВДНМК: верхний слой 1 – наплавленная металлокерамика (МК), второй слой 2 – зона сплавления МК с подложкой; третий слой 3 – зона термодиффузионного упрочнения.

На фотографиях микроструктуры также определенно обозначены керамические армирующие фазы.



Рис.1. Микроструктура образца №6, x1000



Рис. 2. Микроструктура образца №1, x300

Расчет ударной вязкости по твердости

Расчеты, выполненные по методике Давиденкова Н.Н. и Фридмана Л.Б [1,2,3] в ГОСНИТИ, показали, что прочностные качества металлокерамических покрытий в 2-3- раза выше закаленной стали 65Г, из которой изготавливаются рабочие органы почвообрабатывающей техники, а ударная вязкость металлокерамических покрытий не ниже стали 65Г.

Метод твердости является незаменимым при оценке механических свойств металлов в процессе эксплуатации; для металлов, из которых трудно изготовить образцы резанием при оценке свойств поверхностного слоя.

Определение ударной вязкости a_n по отношению $\sigma_{0,2}/\sigma_B$:

$\sigma_{0,2}$ - предел текучести;

σ_B - предел прочности.

В качестве показателя, оценивающего склонность металла к хрупкости, широко используется ударная вязкость. При помощи ударной вязкости оценивают чувствительность металла к надрезу в условиях повышенной скорости деформации.

На промышленных предприятиях наиболее распространено определение ударной вязкости путем испытания призматических надрезанных образцов на маятниковых копрах. Ударную вязкость a_n оценивают величиной полной работы A , затраченной на ударный излом образца и отнесенной к площади поперечного сечения образца:

$$a_n = A/F. \quad (1)$$

Главное достоинство ударной вязкости заключается в ее высокой чувствительности к термообработке, изменению режимов технологических процессов производства и обработки металлов, в возможности установления критического интервала хрупкости.

Известно, что ударная вязкость связана с объемом, вовлекаемым в пластическую деформацию в месте надреза. Деформируемый объем зависит от упругости металла, которая может быть охарактеризована равномерной деформацией при растяжении или отношением $\sigma_{0,2}/\sigma_B$.

Этим, по-видимому, и объясняется наличие связи для частных случаев между a_n и $\sigma_{0,2}/\sigma_B$. С увеличением $\sigma_{0,2}/\sigma_B$ значение a_n уменьшается. Это послужило основанием для косвенной оценки a_n по отношению $\sigma_{0,2}/\sigma_B$ [4].

О связи предела текучести $\sigma_{0,2}$ с $H_{0,2}$ и предела прочности σ_B с НВ было уже сказано выше. Поэтому отношение $\sigma_{0,2}/\sigma_B$ может быть определено методом твердости достаточно быстро и надежно.

$$a_n = \sigma_{0,2}/\sigma_B [4], \quad (2)$$

σ_B определялась по H_{max} [А.С.365622 СССР].

Между H_{max} и σ_B для широкого круга материалов наблюдается устойчивая связь линейного характера.

H_{max} – твердость до предела текучести, МПа.

Статическая обработка результатов определения H_{max} и σ_B по способу наименьших квадратов показала высокий коэффициент корреляции и весьма простое уравнение регрессии:

$$\sigma_B = 0,333H_{max} [4] \quad (3)$$

Зависимость $\sigma_B(H_{max})$ является универсальной и может быть использована для любых металлов в различных состояниях, включая и напыленные (упрочненные) металлы [4].

Наиболее простым способом определения σ_B является определение его по НВ [4]. Экспериментальная зависимость между НВ и σ_B для конструкционных углеродистых и перлитных низкоуглеродистых сталей имеет почти прямолинейный характер [4].

Статистическая обработка результатов испытаний показала высокий коэффициент корреляции (0,938-0,99) [2], низкие доверительные интервалы и уравнения регрессии следующего вида:

$$\sigma_b = 0,365 \text{ HB}^{0,989} \text{ [5].} \quad (4)$$

Расчеты по этой формуле показали, что для твердости, полученной при наших исследованиях (п. 3.6. отчета) от $\text{HB}=865 \text{ кгс/мм}^2$ (8650 МПа) до $\text{HB}=1226 \text{ кгс/мм}^2$ (12260 МПа), предел прочности σ_b металлокерамического слоя соответственно равен 2984 и 4230 МПа.

Для конструктивных углеродистых и перлитных легированных сталей предел прочности σ_b составляет 440-1850 МПа при твердости 1200-5000 МПа [4].

Если сравнить полученные данные по пределу прочности σ_b металлокерамического слоя, то можно сделать заключение о том, что прочностные качества металлокерамики выше закаленной Ст.65Г, из которой изготавливаются детали почвообрабатывающей техники.

В заключение сделаем сравнительный расчет ударной вязкости a_n по твердости, используя вышеизложенные данные:

$$\sigma_{0,2} = 0,367 \text{ HB [13].} \quad (5)$$

Для металлокерамических покрытий:

$$\sigma_{0,2\text{min}} = 0,367 * 8650 = 3174 \text{ МПа.} \quad (6)$$

$$\sigma_{0,2\text{max}} = 0,367 * 12260 = 4499 \text{ МПа.} \quad (7)$$

Для подложки детали из Ст.65Г:

$$\sigma_{0,2\text{min}} = 0,367 * 1200 = 440 \text{ МПа,} \quad (8)$$

$$\sigma_{0,2\text{max}} = 0,367 * 5000 = 1835 \text{ МПа.} \quad (9)$$

Расчет ударной вязкости по твердости a_n

Для металлокерамических покрытий

$$a_{n1} = 3174/2984 = 1,06; a_{n2} = 4499/4230 = 1,06. \quad (10)$$

Для подложки детали из Ст.65Г

$$a_{n3} = 440/440 = 1; a_{n4} = 1835/1850 = 0,99. \quad (11)$$

Из расчетов ударной вязкости по твердости можно сделать следующие выводы.

1. Прочностные показатели металлокерамических упрочняющих покрытий в 2,3 раза выше закаленной детали из Ст.65Г почвообрабатывающей техники.

2. Ударная вязкость металлокерамических покрытий также выше, но не намного. Причина заключается в том, что материал матрицы металлокерамического слоя стальной.

Метода КВДНМК не требует высоких затрат на материалы и оборудование, что делает его наиболее привлекательным для внедрения (таблица 1).

Таблица 1

СТОИМОСТЬ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ПРОЦЕССОВ УПРОЧНЕНИЯ

№	Наименование процесса	Оборудование	Обработка одной детали		Цена оборудования (тыс.руб.)	Цена пуска наладки (тыс.руб.)
			Время	Цена (руб)		
1	ТВЧ	СВЧ-40АВ	46 сек	115	600	260
2	Вибродуговое упрочнение металлокерамикой	ВДГУ-2	12 мин	28	90	10
3	Газопламенная наплавка	Горелка ГН-2, баллоны кислород-ацетилен	18 мин	266	23 (без баллонов)	50-70
4	ЭИЛ	БИГ-5	12 мин	360	350	10

Значения результатов исследований

Лабораторные испытания на износостойкость образцов из дисков фирмы «Амаzone» на машине трения в среде кварцевого песка подтвердили высокую

износостойкость, обеспечивающую карбовибродуговой наплавкой металлокерамики (метод КВДНМК), т.е в 4.2 – 10.55 раз выше образцов из нового диска «Амаzone» (таблица 2). Время испытания – 30 мин, абразив – кварцевый песок, нагрузка 1 кгс.

Таблица 2

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ

Номер образца	М до испытаний	М после испытаний	Изменение массы	Среднее изменение массы	Е (отн. износостойкость)
1	47,3400	47,3078	0,0322	0,03695	1
	47,3078	47,2661	0,0417		
2	41,5440	41,5410	0,0030	0,00965	6,57
	41,5400	41,5247	0,0153		
3	41,9614	41,9532	0,0082	0,0087	4,24
	41,9532	41,9440	0,0092		
4	51,5975	51,5963	0,0012	0,0035	10,55
	51,5963	51,5905	0,0058		
5	41,0270	41,0240	0,0030	0,0054	6,84
	41,0240	41,0162	0,0078		

При полевых испытаниях лап культиваторов, упрочненных семью методами, включая электроискровое упрочнение, лазерную и дуговые наплавки (ИМАШ, Томск) и ТВЧ, наш метод упрочнения ВДНМК показал увеличение износостойкости перед указанными шестью методами в среднем на 25% (таблица 3).

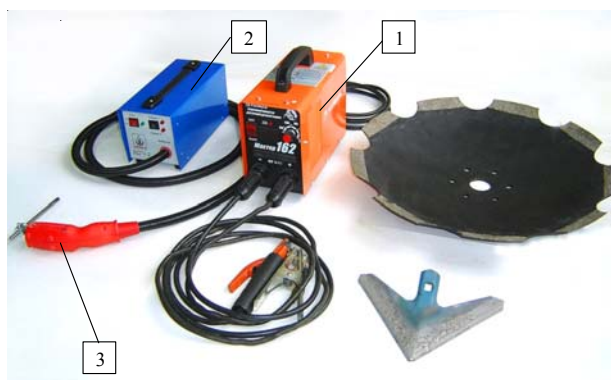
Таблица 3

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ В РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ ЛАП КУЛЬТИВАТОРОВ, УПРОЧНЕННЫХ СЕМЬЮ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ

Способ упрочнения	Количество деталей	Результаты тестирования	
		Износ носка, мм Среднее арифметич.	Износ крыльев, мм Среднее арифметич.
Вибродуговое упрочнение (снизу лезвия)	10	50,3	6,9
Вибродуговое упрочнение (сверху лезвия)	2	39	9,25
Электроискровое упрочнение (сверху лезвия)	5	52	10,9
ИМАШ (снизу лезвия)	7	62,8	10,2
Лазерная наплавка (снизу лезвия)	6	58	10,9
Дуговая наплавка (сверху лезвия)	4	53,6	6,1
Дуговая наплавка (снизу лезвия)	3	48	9,5
Наплавка ТВЧ (снизу лезвия)	2	57,6	7,75
Без упрочнения	4	64,5	10

Оборудование для КВДНМК

Для реализации высокоэффективного упрочнения методом КВДНМК разработан и применяется на практике комплект оборудования КВДНМК, представленный на рис. 3.



работан и применяется на практике комплект оборудования КВДНМК, представленный на рис. 3.

Рис. 3. Комплект оборудования КВДНМК
1. Инверторный источник тока 200-250А. 2. Пульт управления. 3. Вибратор с креплением в нем графитового электрода Ø 6-10 мм

Комплект оборудования КВДНМК может применяться в составе автоматизированной установки ОВД-28315, представленной на рис. 4.



Рис. 4. Автоматизированная установка для упрочнения дисков вибродуговой наплавкой металлокерамики

Композиционные МК-составы применяются в виде пасты, которая наносится на упрочняемую поверхность толщиной 2,5-3,5 мм. После высыхания паста расплавляется вибродугой графитового электрода. Общая толщина упрочненного слоя, включая наплавленный, переходный и диффузионный составляет около 3.2 мм.

Выводы

1. По технико-экономическим показателям метод упрочнения ВДНМК ГОСНИТИ превосходит лучшие отечественные методы упрочнения и не уступает зарубежным (например, фирмы «Amazon», табл. 1).

2. Лабораторные и полевые испытания результатов исследования и разработки инновационного метода упрочнения деталей в условиях абразивного износа вибродуговой наплавкой металлокерамики с использованием карбоэлектродов (КВДНМК) показали высокие результаты по сравнительной износостойкости: при лабораторных испытаниях износостойкость упрочненных образцов выше с 4.24 до 10,55 раз по сравнению с закаленными из стали дисками фирмы «Amazon»; при полевых испытаниях дисков фирмы «Amazon» ресурс упрочненных наплавкой металлокерамики выше по сравнению с новыми дисками фирмы «Amazon» в 2,1-2,3 раза (табл.2).

3. При полевых испытаниях лап культиваторов, упрочненных семью известными методами, включая электроискровое упрочнение, лазерную и дуговые наплавки (ИМАШ, Томск), газопламенную порошковую наплавку и наплавку ТВЧ, наш метод упрочнения КВДНМК показал преимущества перед шестью методами на 25% (табл.3).

4. Разработка технологии и комплекта оборудования упрочнения методом КВДНМК рабочих органов почвообрабатывающей техники была отмечена «Золотой медалью» и Дипломом на выставке «Золотая осень» в 2013 году.

5. Годовой экономический эффект от использования одной установки КВДНМК с учетом увеличения ресурса в 2,1-2,3 раза дисков фирмы «Amazon» по сравнению с заводской технологией закалки составляет 4,1 млн руб.

Литература

1. *Марковец М.П.* Определение механических свойств металлов по твердости. Москва, Машиностроение 1979, С. 61-70.
2. *Давиденков Н.Н., Беляев С.Е., Марковец М.П.* Получение основных механических характеристик стали с помощью измерений твердости. – Заводская лаборатория, 1945, №10, С. 964-973.
3. *Фридман Я.Б.* Механические свойства металлов. М.Машиностроение, 1974, с.54.
4. *Костов Е.С.* Исследование влияния холодной пластической деформации на механические свойства металла и стойкость изделий в эксплуатации. Авторская диссертация на соискание ученой степени канд.техн.наук. М.МЭИ, 1975, с.20.

KARBOVIBRODUGOVOY METHOD OF HARDENING OF MACHINE PARTS OPERATING UNDER ABRASIVE WEAR SURFACING CERMET (KVDNMK)

*V.P. Lyalyakin, Professor, N.V. Titov, Ph.D. ,
N.N. Litovchenko, Ph.D., R.S. Nichiporenko
(GNU GOSNITI RAAS, tel.8(495)371-69-00, e-mail: s10gosniti@mail.ru)*

Annotation. *A description of the method developed karbovibrodugovogo hardening machine parts operating under abrasive wear surfacing cermet (KVDNMK). The calculation of toughness for the investigated coatings. Shows the results of comparative tests of samples obtained by karbovibrodugovogo hardening and other methods.*

Keywords: *karbovibrodugovoe peening, abrasive wear, toughness.*