

УДК

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ И ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА УПРОЧНЕНИЯ ЗЕРКАЛА ГИДРОЦИЛИНДРОВ

Чумаченко В.С., магистрант,
Скляр Н.А., канд. техн. наук, проф.,
Донецкий национальный технический университет

Приведены результаты исследования влияния режимов электромеханической обработки на шероховатость микротвердость и коррозионную стойкость упрочняемых поверхностей гидроцилиндров горных и транспортных машин.

В угольной промышленности используются различные виды оборудования механизированных выемочных комплексов (комбайн, конвейер, крепь), в которых применяется большое количество силовых гидроцилиндров (гидростойки, гидродомкраты и др.) работающих на водомасляной эмульсии. Рабочая жидкость содержит до 0,212% загрязняющих примесей, включающих пиритные и кварцевые частицы с микротвердостью превышающей микротвердость материала цилиндров, что приводит к интенсивному коррозионному повреждению и снижению их долговечности [1].

Для упрочнения внутренней поверхности гидроцилиндра целесообразно использовать электромеханический способ обработки, обеспечивающий увеличение поверхностной микротвердости до 6500...7500 Н/мм², снижение шероховатости и повышение коррозионной стойкости обрабатываемой поверхности.

Одним из главных достоинств этого способа являются отсутствие термообработки основной массы металла детали. Упрочнению подвергается поверхностный слой, при этом основная масса металла остается вязкой, что повышает безопасность эксплуатации при циклическом режиме нагружения деталей.

Сущность способа ЭМО деталей заключается в том, что через деформирующий элемент, например накатной ролик, пропускают ток большой силы и низкого напряжения, в результате чего в зоне контакта ролика с поверхностью детали происходит локальный разогрев контактной зоны до температуры, соответствующей фазовому превращению металла (для среднеуглеродистых и легированных сталей $t_{\text{ф}}=850-950^{\circ}\text{C}$). За счет высоких скоростей

нагрева и охлаждения контактной зоны в условии приложения усилия деформирования в поверхностном слое образуются высокотвердые и износостойкие поверхности, так называемые, белые и серые слои глубиной 0,02...0,03 мм. При этом одновременно достигается снижение шероховатости на 2...3 класса, причем микронеровности приобретают округлую форму, что на 30...40% увеличивает площадь фактического контакта сопрягаемых поверхностей деталей по сравнению с обработкой шлифованием до одинакового значения параметра шероховатости [2].

Для исследования способа ЭМО была разработана установка, представленная на рис.1

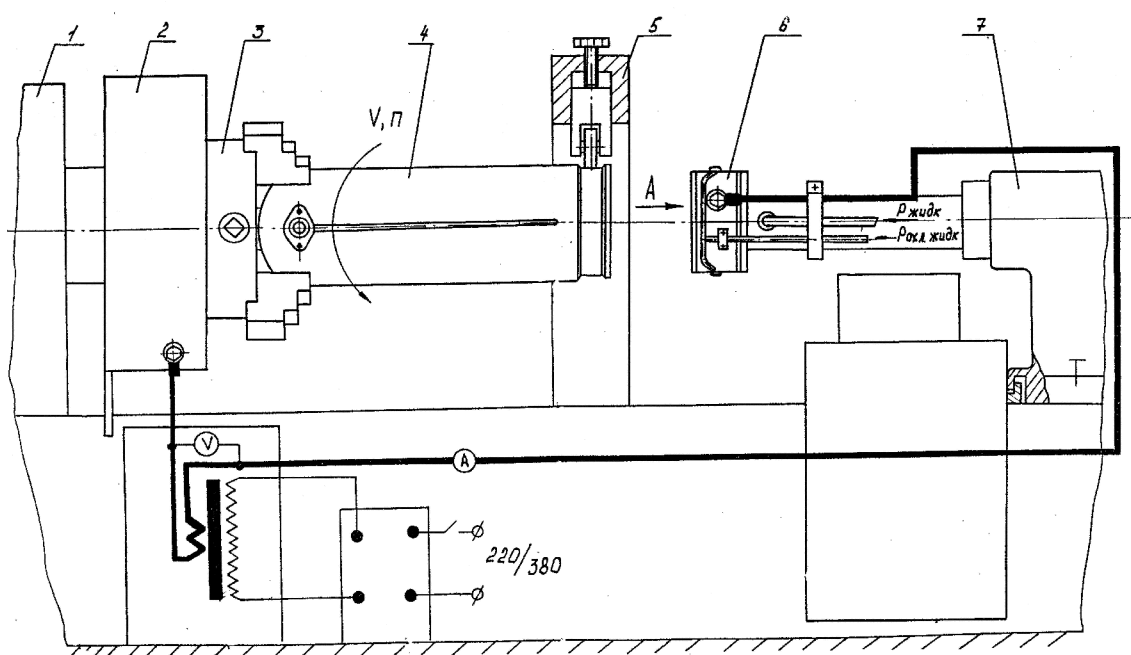


Рис.1 Принципиальная схема установки электромеханической обработки цилиндров на токарном станке

В качестве источника технологического тока используется однофазный трансформатор, вторичная обмотка которого выполнена из трех витков, представляющие из себя медные шины сечением 600-700 мм².

В цепи технологического тока установлен амперметр и вольтметр для контроля за режимами упрочнения. Питающая однофазная цепь подключена к трансформатору через регулятор напряжения типа РНО-250, которым регулируют напряжение первичной и вторичной цепи трансформатора и величину его рабочего тока.

Техническая характеристика установки электромеханического упрочнения представлена в табл. 1.

Таблица 1 - Техническая характеристика установки электромеханического упрочнения

Напряжение питающей однофазной цепи, В	220
Технологический ток при продолжительности включения ПВ-90%	200...1000
Род технологического тока	переменный
Напряжение технологического тока, В	1...5
Материал упрочняющих роликов	T15 K6
Радиус роликов, мм	40...50
Устройство прижима роликов	гидравлическое
Габаритные размеры источников технологического тока и аппаратуры управления	1000*800*1200
Масса источников технологического тока и аппаратуры управления, кг	500

Технология упрочнения внутренней поверхности гидроцилиндра заключается в следующем: гидроцилиндр 4 с помощью люнета 5 устанавливается соосно патрону 3 и оси задней бабки 7 и закрепляется в патроне 3 передней бабки 1 токарного станка. Так же устанавливается токоподводящее устройство 2 (рис. 2).

В корпусе 1 токоподводящего устройства пружинами 2 поджаты токосъемные щетки 3. Токоподводящее кольцо 4 устанавливается соосно с патроном 5 и обрабатываемой деталью 6. В корпусе 1 установлены ролики 7 и 8, вращающиеся на осях 9 и 10. Токоподводящее кольцо 4 связано с патроном 5, токоподводящими винтами 11 и контактными элементами 12, изготовленными из меди и латуни. В корпусе 1 жестко закреплен штырь 14 из диэлектрика, опирающийся на станину 15 токарного станка. К корпусу 1 подключена одна из клемм 13 от источника технологического тока. При вращении патрона 5 вращается жестко связанное с ним кольцо 4 в роликах 7 и 8, а в корпусе благодаря штырю 14, опирающемуся на станину 15 остается неподвижным. Через элементы 13-1-3-4-12-5 осуществляется подвод тока к детали 6.

Раскатная головка имеет корпус 1 (рис.3), в прямоугольных пазах которого установлены ползуны 2 с возможностью радиального перемещения с помощью гидроцилиндра 3 одностороннего действия. В ползунах 2 установлены ролики 4 с твердосплавными рабочими

вставками в меднографитовых токоподводящих подшипниках 5. Корпус 1 изолирован от бортоштанги 6 диэлектрическими прокладками 7,8. Устройство закрывается крышкой 9. Охлаждающая жидкость к поверхности роликов 4 подается по трубе 10.

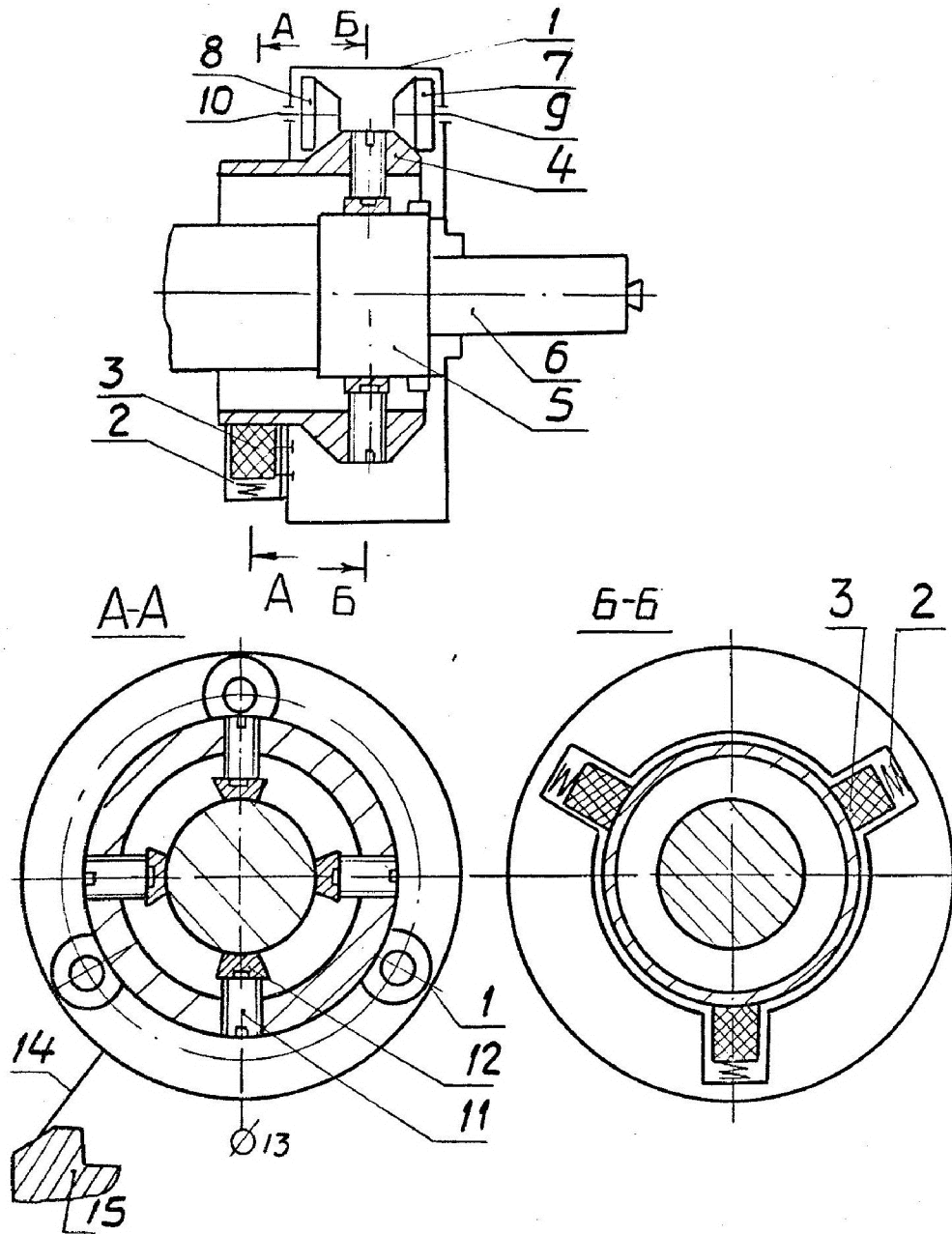


Рис. 2 Токоподводящее устройство

Для выполнения работ по упрочнению поверхностей необходимо установить державку раскатной головки в заднюю бабку станка, подсоединить один из полюсов источника питания к токосъемному устройству, а другой к раскатной головке. Затем необходимо установить скорость вращения шпинделя, скорость

подачи суппорта и произвести настройку источника технологического тока на заданный режим упрочнения, осуществить прижим роликов, включить привод вращения шпинделя и подачи суппорта, подачу смазочно-охлаждающей жидкости и источник технологического тока.

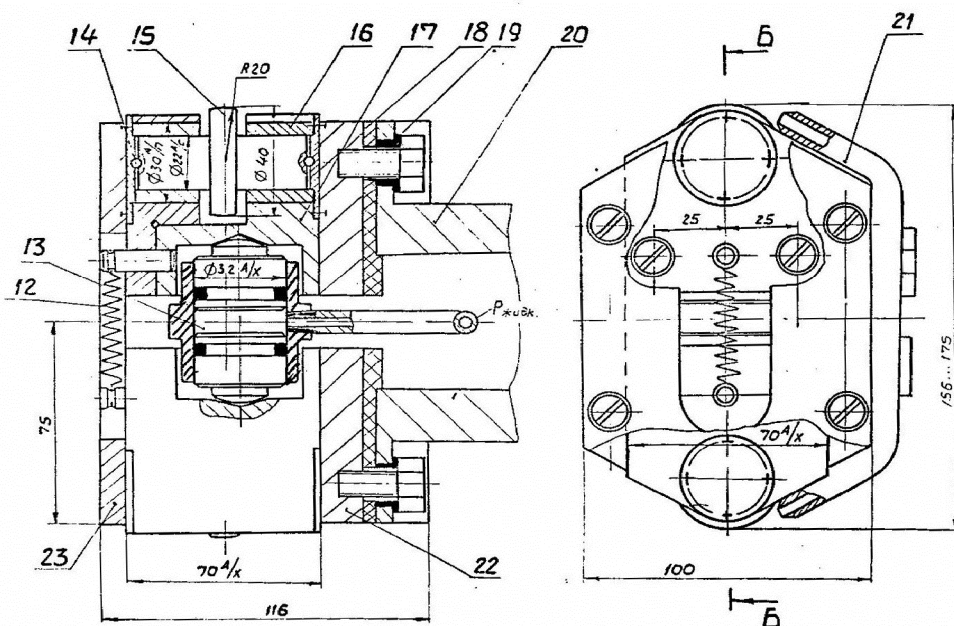


Рис. 3 Раскатная головка

В качестве опытных образцов использовались цилиндрические валики диаметром 26 мм из стали марки 30ХГСА. Материал упрочняющего ролика – твердый сплав ВК15М, диаметр ролика 42 мм, профильный радиус ролика 20 мм, который получали заточкой ролика специальным профилированным алмазным кругом с последующей доводкой алмазными пастами до шероховатости $Ra=0,01...0,02$ мкм.

Испытываемые образцы предварительно обрабатывали твердосплавным резцом марки Т30К4. Исходная шероховатость образцов $Ra=2,8...3,5$ мкм, расчетная площадь контакта упрочняющего ролика с поверхностью образца $F=0,85$ мм², исходная твердость НВ 240...280 (нормализация), микротвердость $H_m=2600...2800$ Н/мм².

В процессе исследования шероховатость поверхности образцов измерялась на профилемере модели П253. При проведении микроструктурного анализа срезы образцов заливались сплавом Вуда с последующей обработкой и доводкой поверхности срезов до

параметра шероховатости $Ra=0,02...0,04$ мкм. Измерение микротвердости проводились на микротвердомере ПТМ-3 с микроскопом АМ-9-2 по существующей методике.

Площадь фактического контакта упрочняющего ролика с цилиндрической поверхностью, согласно [2]:

$$F = 22 * Ra * \sqrt{\frac{r * \rho * R}{\rho \pm r}}$$

где Ra – исходный параметр шероховатости поверхности, мкм;

r – радиус ролика в сечении, перпендикулярном оси детали, мм;

R – радиус ролика в плане, мм;

ρ - радиус упрочняемой поверхности, мм.

Знак “+” берется при обработке наружных поверхностей, а знак “-” - при обработке внутренних поверхностей.

Плотность электрического тока (J , А/мм²) согласно [2]:

$$J = \frac{I}{F},$$

где I – сила тока в технологической цепи, А

Удельные контактные давления прижима ролика (p , Н/мм²):

$$P = \frac{P}{F},$$

где p – усилие прижима ролика, Н

В работе использовался метод планирования эксперимента [3,4]. На первом этапе проводилась построение планов первого порядка полного факторного эксперимента 2^4 : исследовалось влияние факторов скорости обкатки V , подачи S , плотности тока j , удельного контактного давления прижима ролика p на параметр средней шероховатости поверхности Ra и микротвердости H_m упрочняемой зоны. Прежде всего отыскивалась область режимов, где наблюдалось существенное снижение параметра шероховатости поверхности Ra . Уровни варьирования факторов полных факторных экспериментов 2^4 приведены в табл. 2.

Таблица 2 - Факторы и уровни варьирования

№ пп	Факторы	Кодовое обозначение	Уровни варьирования факторов		
			Нижний $x_i=-1$	Основной $x_i=0$	Верхний $x_i=1$
1	Плотность тока j , А/мм ²	x_1	0 400	200 650	400 900
2	Удельное давление p , Н/мм ²	x_2	100	400	600

3	Скорость обкатки V, м/мин	x_3	5	16	27
4	Подача, S, мм/об	x_4	0,08	0,02	0,32

Получены уравнения регрессии :

для условий $j=0...400 \text{ А/мм}^2$

$$R_{a1}=1,75-0,39x_1-0,42x_2-0,084x_3-0,01x_4$$

для условий $j=400...900 \text{ А/мм}^2$

$$R_{a2}=2,35+x_1=0,82x_2-0,2x_3-0,087x_4$$

Абсолютная величина коэффициентов регрессии в полученных уравнениях показывает влияние каждого фактора на изменение исследуемого параметра. Знак «-» в уравнении регрессии означает, что увеличение по абсолютной величине фактора приводит к уменьшению параметра, а знак «+», соответственно означает обратное.

Анализ результатов исследования показал., что изменение подачи S инструмента с 0,08 до 0,032 мм/об мало сказывается на изменении шероховатости и глубины упрочнения. Поэтому в дальнейшем этот фактор исключен из исследования и из условия максимальной производительности принято $S=0,32 \text{ мм/об}$.

При скорости $V = 27 \text{ м/мин}$ отмечена малая глубина упрочнения (белый слой глубиной $h = 0,01...0,05 \text{ мм}$) с большой прерывистостью чередования белых слоев, что, очевидно, связано с недостаточным прогревом из-за пульсации переменного тока (частота 50 Гц) и большой скоростью вращения образца.

При скорости $V = 5 \text{ м/мин}$, пониженных удельных давлениях $p=100 \text{ Н/мм}^2$ и плотности тока $j= 400...600 \text{ А/мм}^2$ отмечена сплошная белая зона с микротвердостью $H_M > 6500 \text{ Н/мм}^2$.

При тех же условиях для $j = 400 \text{ А/мм}^2$ глубина $h = 0,02...0,05 \text{ мм}$;

для $j = 900 \text{ А/мм}^2$ глубина $h = 0,15...0,3 \text{ мм}$ однако в последнем случае отмечено резкое снижение стойкости инструмента, появляющееся в схватывании материала ролика с материалом образца, что приводит к резкому ухудшению шероховатости обрабатываемой поверхности $R_a = 4,5...5,0 \text{ мкм}$.

На втором этапе исследования были уточнены уровни варьирования и проведен полный факторный эксперимент 2^3 (табл. 3). В качестве выходных параметров служили R_a – средняя шероховатость поверхности, мкм; H_M – средняя микротвердость на глубине соответственно 0,02 мм от поверхности образца, Н/мм^2 .

Исходная шероховатость образцов в эксперименте была принята $Ra=1,8...1,9$ мкм; расчетная площадь контакта упрочняющего ролика с поверхностью образца $F=0,5$ мм². Проведено два повторных опыта.

Таблица 3 - Факторы и уровни варьирования

№ п/п	Факторы	Кодовое название	Уровни варьирования факторов		
			Нижний $x_i=-1$	Основной $x_i=0$	Верхний $x_i=1$
1	Скорость обкатки V , м/мин	x_1	7	10,5	14
2	Плотность тока j , А/мм ²	x_2	500	630	760
3	Удельное давление p , Н/мм ²	x_3	300	630	760

В результате подсчета регрессивных коэффициентов и проверки их значимости по критерию Стьюдента с уровнем значимости $1-\alpha=0,8$ (незначительные коэффициенты были исключены) получены уравнения регрессии:

$$Ra=0,728+0,061x_2-0,085x_2-0,011x_3$$

$$H_m=6940-813x_2+1938x_2-938x_3-563x_1x_2+563x_1x_3-688x_2x_3$$

Из проведенных исследований следует, что после электромеханической обработки поверхностная микротвердость образцов возросла в 2-3 раза по сравнению с упрочнением жестким роликом. Определены рациональные режимы ЭМО:

$$j=500...750 \text{ А/мм}^2, p=300-500 \text{ Н/мм}^2, V=7...14 \text{ м/мин},$$

при которых достигается шероховатость поверхности в пределах $Ra=0,6...0,7$ мкм наряду с высокими значениями микротвердости $H_m=6000...7000$ Н/мм².

На основе вышеизложенных исследований рекомендованные режимы упрочнения представлены табл. 4

Таблица 4 - Рекомендованные режимы упрочнения

№ п/п	Режим упрочнения	Плотность тока, А/мм ²	Скорость вращения шпинделя, м/мин	Подача суппорта, мм/об
1	Мягкий выглаживающий	400-500	30-40	0,1-0,3
2	Мягкий упрочняющий	400-500	15-20	0,8-1,2
3	Средний упрочняющий	600-700	9-15	0,5-0,9

4	Жесткий упрочняющий	600-700	7-9	0,3-0,6
---	---------------------	---------	-----	---------

Режим упрочнения 1 и 2 позволяют снизить шероховатость поверхности с $Ra=5...2,5$ до $Ra=0,6...0,3$ мкм, однако поверхностная микротвердость увеличивается всего на 10...30%.

Режим 3 и 4 позволяют снизить шероховатость поверхности с $Ra=5...2,5$ до $Ra=0,8...0,5$ мкм, зато поверхностная микротвердость увеличится в 2-3 раза для среднеуглеродистых сталей 30ХГСА; в 3-м режиме до 5500...6000 Н/мм²; в четвертом режиме до 6000...7500 Н/мм².

Оценка коррозионной стойкости образцов производилась по методике ускоренных испытаний на коррозионную стойкость материалов разработанной в ИГД им. А.А. Скочинского [5]. Схема процесса исследования представлена на рис. 4.

Исследуемые участки 5 образца покрывались фильтровальной бумагой 6, концы 7 которой опускались в трехпроцентную эмульсию 8 с присадкой АКВОЛ-3, которая является рабочей жидкостью гидроцилиндров мехкрепей. Образцы 1 помещаются в герметично закрытый эксикатор 4 с крышкой 3.

С целью проведения ускоренных испытаний над опытным образцом подвешивался тигель 2 с серной кислотой.

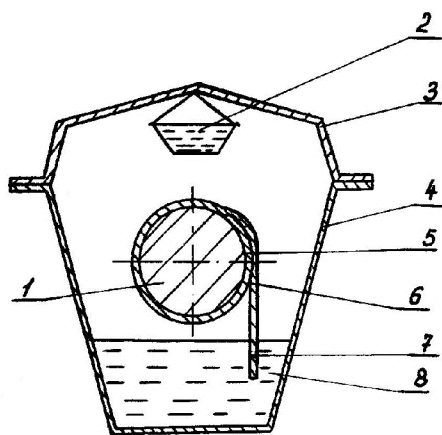


Рис.4 Схема процесса исследования коррозионной стойкости опытных образцов

Условная коррозионная стойкость (K) определялась по формуле:

$$K = \frac{100 - A}{100}$$

где A – площадь поверхности, поврежденной коррозией, %

Результаты исследования образцов на коррозионную стойкость приведены в табл. 4.

В результате исследования построены графики зависимостей условной коррозионной стойкости K , параметра шероховатости R_a и поверхностной микротвердости H_m от плотности электрического тока j в зоне контакта упрочняющего ролика с обрабатываемой поверхностью образцов, которые представлены на рис. 5

Из результатов исследования следует, что наилучшим режимом ЭМО, при котором отсутствует коррозия испытанных образцов, является режим с плотностью тока $j=600\dots700 \text{ А/мм}^2$, при этом обработанная поверхность имеет хорошие показатели параметра шероховатости $R_a=0,65\dots0,80 \text{ мкм}$ и поверхностную микротвердость $H_m=5700\dots7000 \text{ Н/мм}^2$ (заштрихованная область на рис. 5).

Таблица 4 - Режимы ЭМО и коррозионное повреждение образцов

№№ образцов	Плотность тока, j , А/мм ²	Удельное давление ролика, p , Н/мм ²	Скорость обкатки V , м/мин	Коррозия, %
1	0	2000	60	12,20
2	350	500	10,5	7,75
3	500	500	10,5	4,85
4	600	500	10,5	0
5	650	500	10,5	0
6	700	500	10,5	0
7	800	500	10,5	1,47

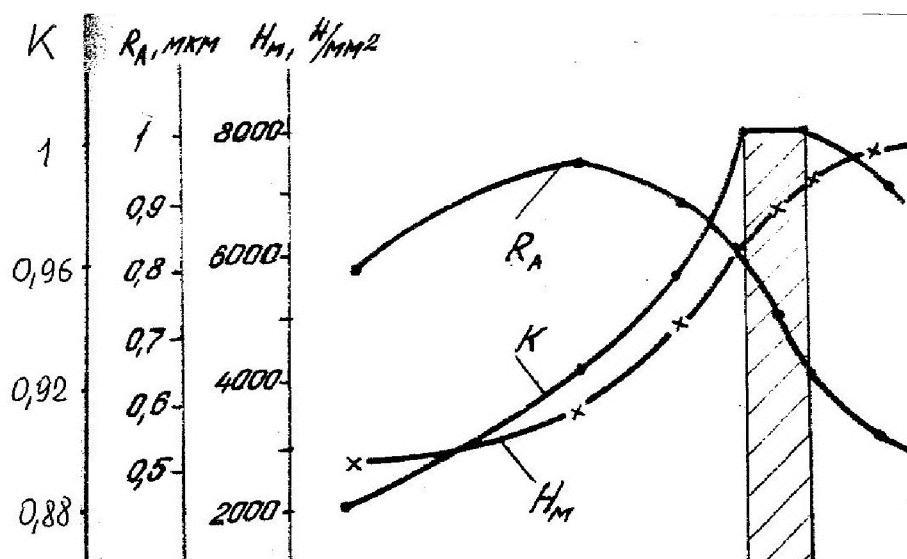


Рис. 5 Зависимости условной коррозионной стойкости K , параметра шероховатости R_a и поверхностной микротвердости H_m образцов из стали 30ХГСА, упрочненной при $V=10,5 \text{ м/мин}$ и $p=500 \text{ Н/мм}^2$ от плотности электрического тока j

Снижение коррозионной стойкости при $j=700 \text{ А/мм}^2$ связано, очевидно, с перегревом поверхности образца и развитием процесса обезуглероживания поверхностного слоя, что, как известно, при термообработке деталей ТВЧ приводит к существенному снижению коррозионной стойкости.

С учетом результатов и рекомендаций выполненных исследований было проведено упрочнение внутренних поверхностей 19-ти цилиндров гидростоек мехкрепи на опытной установке (рис. 6), которые вместе с контрольными гидростойками прошли испытания на шахте «Донбасс» ГП «Донецкуголь».

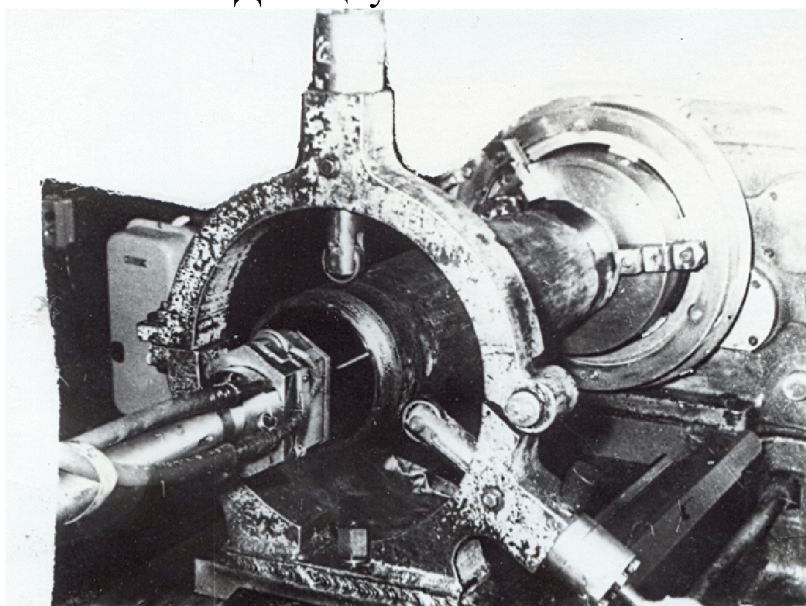


Рис.6 Опытная установка для упрочнения цилиндров

Список источников

1. Семик П. Е., Скляр Н.А., Панчева Ю. С. Пути увеличения долговечности стоек крепи 1М88.-Уголь Украины, 1984, №7, с. 24-25.
2. Аскинази Б. М. Упрочнение и восстановления деталей электромеханической обработкой. Л.: Машиностроение. 1977.-183с.
3. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий.-М.:Наука, 1976.-279с.
4. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов/К. Картман, Э. Лецкий, В. Шеффер и др.-М.:Мир, 1977.-552с.
5. Комплекс методик лабораторных испытаний рабочих жидкостей для гидросистем для шахтных крепей и гидромффт.-М.:ИГД им. А. А.Скочинского, 1981.-16с.