

давлений в соединении. Предложенная методика позволяет с минимальными затратами получить характерную картину процесса НДС соединения Т-Р для конкретного типоразмера соединения и установить приемлемость возможных вариантов сочетания различных материалов Т-Р. Благодаря научно-обоснованному анализу получаемых данных для выбранного сочетания Т-Р представлена возможность назначения оптимальных режимов технологического процесса формирования узла крепления Т-Р, обеспечивающих максимально возможную герметичность и прочность соединения.

SUMMARY

Offered the new strategy of experimental determination tense-deformed condition a pipe-lattice on combined master diagrams for concrete range of sizes join. It allows to install optimum modes of technological process of shaping a node of fastening a pipe-lattice, ensuring greatly possible impenetrability and toughness of join chiller energy installation.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ремнев А. И. Некоторые аспекты практического применения технологии крепления труб с тонкой трубной решеткой осевым деформированием // Гидравлические машины, гидропневмоагрегаты, теория, расчет, конструирование. Тем. сб. научн. тр. - К.: УСДОУ, 1994.-С.303-312.
2. Ремнев А. И., Васильев А. В., Захаркин А. У. Технология закрепления труб в трубных решетках теплообменных аппаратов. И. л. №89-100.- Харьков: Изд-во Харьковский МТЦНТИ, 1989.- С.1-3.
3. Лунев Г. В., Ремнев А. И., Пашкин П. В. Сравнительные испытания качества соединений алюминиевых труб с трубными решетками, выполненных развальцовкой и осевой опрессовкой // Химическое и нефтяное машиностроение, 1982.- №11.- С.22-23.
4. Юзик С. И. Развальцовка труб в судовых теплообменных аппаратах. - Л.: Судостроение, 1978. - 144с.
5. Ткаченко Г. П., Бриф В. М. Изготовление и ремонт кожухотрубчатой аппаратуры. - М.: Машиностроение, 1980. - 160с.
6. Ремнев А.И. Исследование напряженно-деформированного состояния тонких трубных решеток // Вісник СумДУ, 1998. - № 2(10). - С.125-129.

Поступила в редколлегию 20 января 1999 г.

УДК 621.9.048.4

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЗАВИСИМОСТЕЙ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННО - ЛЕГИРОВАННЫХ СЛОЕВ ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА

*В.Б.Тарельник, ст. науч. сотр.
(ДНПП "Никмас - Ротор", г.Сумы)*

Электроэрозионное легирование (ЭЭЛ) как процесс получения износостойких покрытий находит все большее применение в машиностроении.

Поэтому представляет определенный научный и практический интерес исследование механизма формирования структуры ЭЭЛ слоя, выяснение влияния состава электродов, длительности и режима легирования на свойства слоя.

Ранее [1] было установлено, что основными технологическими параметрами, оказывающими определяющее влияние на микрогеометрию поверхности, структуру и свойства упроченного слоя, являются мощность разряда, которая определяется произведением тока короткого замыкания на напряжение холостого хода, материал электрода и время легирования. Исследования проводились на подложке из стали 45, а в качестве легирующих электродов использовались твердые износостойкие металлы: хром, вольфрам, частично молибден и армко-железо.

Нами дополнительно на подложках из армо-железа, стали 45, нержавеющей стали 12X18H10T и 07X16H6, быстрорежущей стали P6M5, а также стали на никелевой основе ХН58МБЮД и бериллиевой бронзе БрБ2 исследовались покрытия, сформированные при ЭЭЛ как твердыми износостойкими материалами (хром, вольфрам, молибден, твердые сплавы ВК8 и Т15К6 и др.), так и мягкими антифрикционными металлами (индий, олово, медь и др.).

Результаты обработки экспериментальных данных получены в виде зависимостей прироста веса катода, шероховатости упрочняемой поверхности, микротвердости и толщины белого слоя при ЭЭЛ от мощности разряда.

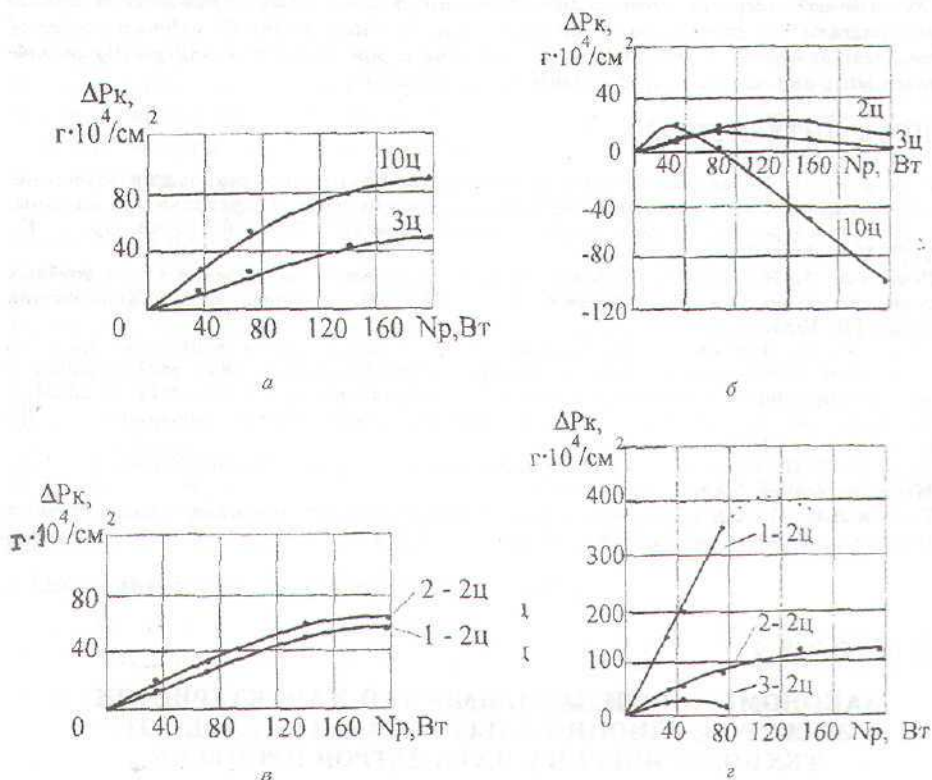


Рисунок 1 - Зависимость привеса катода из стали 45 от мощности разряда при ЭЭЛ твердыми износостойкими материалами - хромом (а), вольфрамом (б), твердыми сплавами ВК8 (в. 1) и Т15К6 (в. 2), а также мягкими антифрикционными металлами - оловом (г. 1), медью (г. 2) и индием (г. 3)

Как видно из рис.1а, при ЭЭЛ стали 45 хромом в течение трех и десяти циклов (продолжительность цикла 1 мин) с возрастанием мощности разряда плавно увеличивается привес на катоде. Аналогичная ситуация и при легировании стали 45 твердыми сплавами ВК8 и Т15К6 (рис.1в). При ЭЭЛ стали 45 вольфрамом (рис.1б) с увеличением мощности разряда привес на катоде сначала возрастает, а затем начинается эрозия - разрушение сформированного ранее слоя. С увеличением длительности ЭЭЛ максимум привеса наступает при меньших показателях мощности разряда.

Легирование стали 45 мягкими антифрикционными металлами (оловом, медью и индием) (рис.1г) в течение двух циклов показывает, что при использовании в качестве материала электрода олова и индия как наиболее легкоплавких металлов, привес возрастает с использованием мощности разряда до 80 Вт, дальнейшее увеличение мощности разряда

приводит к нарушению стабильности в показаниях измерения привеса. При этом на всем протяжении легирования привес при легировании оловом значительно выше, чем при легировании индием, и достигает при мощности разряда 74,6 Вт соответственно 350 и $35 \text{ г} \cdot 10^{-4} / \text{см}^2$. При ЭЭЛ медью, как и при легировании твердыми износостойкими материалами, процесс массопереноса стабилен на всем протяжении (с изменением мощности разряда от 11,5 до 196,5 Вт).

Изучая влияние материала катода и анода на величину массопереноса, было установлено, что по степени увеличения массопереноса за первые минуты процесса материалы электродов располагаются в ряд:

катод - бериллиевая бронза БрБ2, железоармко, сталь 45, Р6М5, никелевый сплав ХН58МБЮД, нержавеющая сталь 07Х16Н6 и 12Х18Н10Т;

анод (твердые, износостойкие материалы) - титан, вольфрам, молибден, ванадий, хром, ВК8, Т15К6, никель;

анод (мягкие, антифрикционные металлы) - индий, медь, олово.

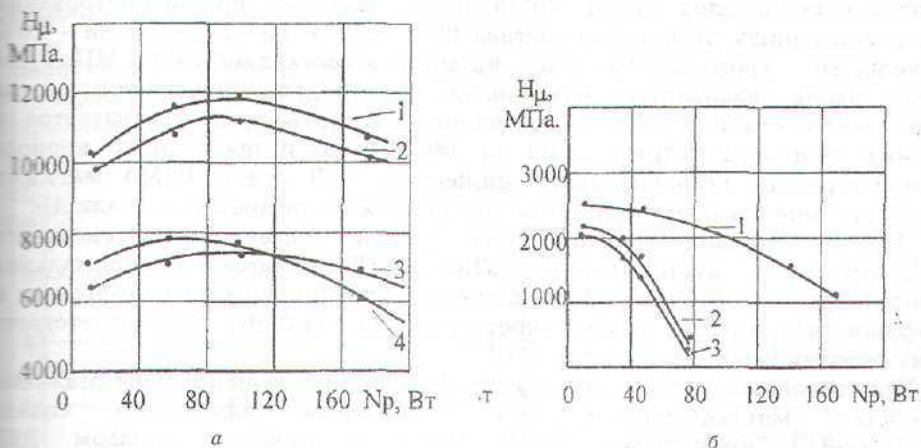


Рисунок 2 - Зависимость микротвердости белого слоя от мощности разряда при ЭЭЛ стали 45 твердыми износостойкими материалами (а) - твердыми сплавами Т15К6 (1), ВК8 (2), хромом (3) и вольфрамом (4), а также мягкими антифрикционными металлами (б) - медью (1), оловом (2) и индием (3)

Анализируя зависимость микротвердости белого слоя (слоя, возникающего в результате ЭЭЛ и не поддающегося травлению реактивами, применяемыми для материала основы) от мощности разряда (время легирования два цикла) при использовании электродов из твердых износостойких материалов, можно отметить, что при легировании стали 45 вольфрамом (рис.2а) микротвердость остается приблизительно на одном уровне (6500 - 7500 МПа) независимо от мощности разряда, а при ЭЭЛ хромом с увеличением мощности разряда сначала возрастает до 7800 МПа при $N_p = 51,5$ Вт, а затем плавно снижается до 5200 МПа при $N_p = 196,5$ Вт. Использование в качестве материала электрода твердого сплава ВК8 и Т15К6 позволяет добиться повышения микротвердости в белом слое соответственно до 11000 и 12000 МПа при мощности разряда 101Вт, после чего дальнейшее увеличение мощности разряда приводит к плавному снижению микротвердости соответственно до 10000 и 11000 МПа при $N_p = 196,5$ Вт.

Применение в качестве материала электрода мягких антифрикционных металлов (рис.2б) позволяет с увеличением мощности разряда плавно снижать микротвердость в белом слое. Так, при ЭЭЛ стали 45 медью, оловом и индием микротвердость белого слоя при мощности разряда 11,5 Вт составляет соответственно 2500, 2100 и 2000 МПа. Минимальные

значения микротвердости для олова и индия достигаются при мощности разряда 74,6 Вт, а для меди - 196,5 Вт и составляют соответственно 500, 300 и 1100 МПа. Снижение микротвердости можно объяснить тем, что увеличение мощности разряда влечет за собой увеличение количества перенесенного материала с анода на катод (рис.1г), и, в данном случае, микротвердость этого перенесенного материала ниже микротвердости подложки из стали 45. Поэтому минимальная микротвердость в белом слое соответствует максимальному количеству перенесенного вещества.

Следует отметить, что при ЭЭЛ армко-железа значения микротвердости практически не отличаются от легирования стали 45.

Характерной особенностью упрочнения быстрорежущей стали Р6М5 является то, что применение твердых сплавов ВК8 и Т15К6 в качестве материалов легирующих электродов позволяет достичь максимальной микротвердости в поверхностном слое 8000 МПа, а легирование той же стали углеродом (графитом ЭГ - 4) увеличивает твердость поверхностного слоя до 12000 МПа. Максимальное значение микротвердости поверхностного слоя стали Р6М5 было получено при использовании композиционных электродов состава 90% ВК6 + 10% 1М, где 1М - 70% никель, 20% хром, 5% бор и 5% кремний и составляет 14200 МПа. Для всех, выше названных материалов электродов, применяемых для упрочнения стали Р6М5 максимальная микротвердость достигается в период мощности разряда с 80 до 140 Вт, до и после этого периода микротвердость незначительно снижается. ЭЭЛ стали Р6М5 мягкими антифрикционными металлами не отличается от легирования стали 45.

При упрочнении нержавеющей сталей аустенитно-мартенситного 07Х16Н6 и аустенитного 12Х18Н10Т класса максимальная микротвердость 5000 МПа была получена при упрочнении вольфрамом и твердым сплавом ВК8 при мощности разряда 144,3 Вт, что соответствует 5-му режиму работы установки ЭЭЛ.

При такой же мощности разряда (144,3 Вт) получены максимальные значения микротвердости при упрочнении никелевого сплава ХН58МБЮД молибденом (5750 МПа) и твердым сплавом ВК8 (10000 МПа), а также бериллиевой бронзы композиционным материалом 1М и хромом (соответственно 4750 и 11200 МПа).

Максимальное снижение микротвердости, что нередко также необходимо, как и её повышение, достигнуто для никелевого сплава ХН58МБЮД при использовании электродов из меди и никеля и составляет соответственно 3500 и 3710 МПа при микротвердости основы 5300 МПа и для бериллиевой бронзы БрБ2 с использованием электродов из олова, БрБ2, графита ЭГ - 4 и меди, что составляет соответственно 1750, 1650, 1400 и 1100 МПа при микротвердости основы 3700 МПа. Необходимо отметить, что все материалы электродов, применяемые для снижения микротвердости поверхностного слоя, наносятся при малых мощностях разряда, порядка 15-50 Вт.

При исследовании влияния мощности разряда на величину шероховатости формируемых поверхностей было установлено, что для всех исследуемых материалов, как подложек, так и легирующих электродов, с увеличением мощности разряда шероховатость увеличивается. Так, на рис.3 показана зависимость шероховатости поверхности от мощности разряда при ЭЭЛ стали 45 твердыми износостойкими материалами (а) - хромом, вольфрамом и твердыми сплавами ВК8 и Т15К6, а также мягкими антифрикционными материалами (б) - оловом, медью и индием. Следует отметить, что при одинаковых мощностях разряда легирование мягкими антифрикционными материалами позволяет формировать покрытия с меньшей шероховатостью, чем при ЭЭЛ твердыми износостойкими материалами (см. рис. 3).

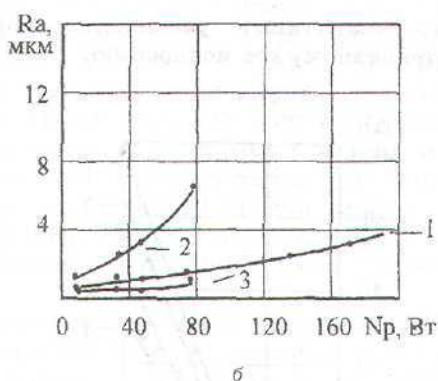
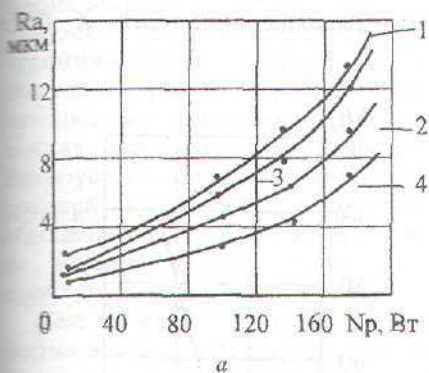


Рисунок 3 - Зависимость шероховатости поверхности стали 45 от мощности разряда при ЭЭЛ стали 45 твердыми износостойкими материалами (а) - твердыми сплавами Т15К6 (1), ВК8 (2), вольфрамом (3) и хромом (4), а также мягкими антифрикционными металлами (б) - медью (1), оловом (2) и индием (3)

Зависимость толщины белого слоя от мощности разряда при ЭЭЛ стали 45 твердыми износостойкими материалами (а) и мягкими антифрикционными материалами (б) показана на рис.4.

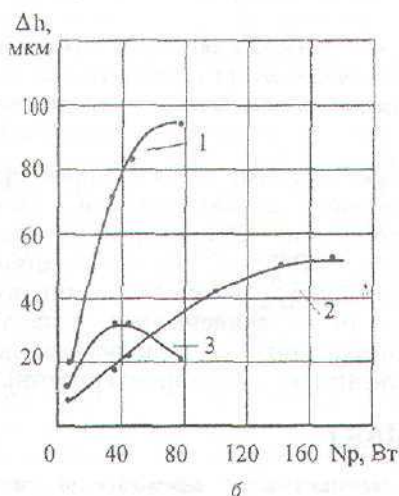
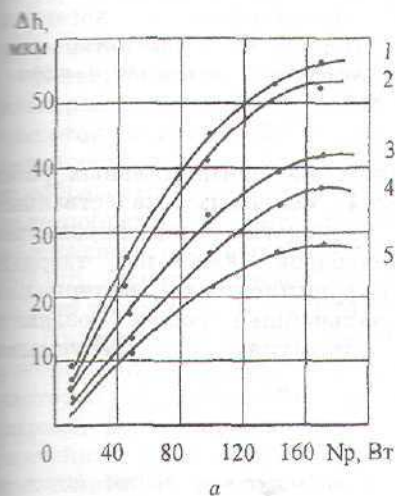


Рисунок 4 - Зависимость толщины белого слоя от мощности разряда при ЭЭЛ стали 45 твердыми износостойкими материалами: (а) - твердыми сплавами Т15К6 (1), ВК8 (2), хромом (3), молибденом (4) и вольфрамом (5), а также мягкими антифрикционными металлами (б) - оловом (1), медью (2) и индием (3)

Форма кривых зависимости $\Delta h_{\delta,c} = f(N_p)$ близка к степенной функции, поэтому можно записать $\Delta h_{\delta,c} = f(\ln N_p)$ (рис.5). Из линейной аппроксимации функции $\Delta h_{\delta,c} = f(\ln N_p)$ следует, что в первом приближении эта функция представляется уравнением $\Delta h_{\delta,c} = C + tg\delta \ln N_p$, где C - толщина белого слоя при легировании на минимальном режиме установки ЭЭЛ; $tg\delta$ характеризует угол наклона линейной аппроксимации $\Delta h_{\delta,c} = f(\ln N_p)$.

Следует отметить, что с увеличением мощности разряда при ЭЭЛ индием стали 45 (рис.4б) толщина белого слоя сначала возрастает до мощности разряда 38 Вт, а затем плавно снижается. Это, вероятнее всего, связано с низкой температурой плавления индия (157°C), в результате

чего дальнейшее увеличение мощности разряда приводит к бо- интенсивному его испарению.

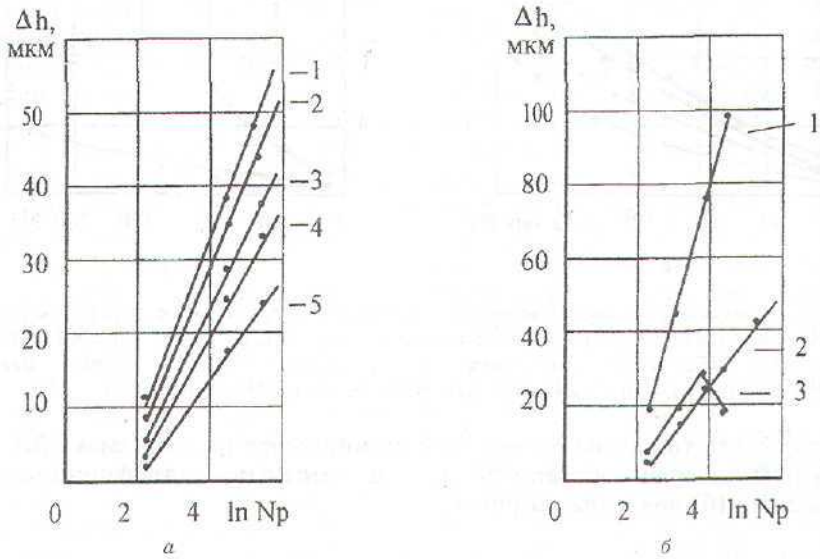


Рисунок 5. Линейная аппроксимация функции $\Delta h_{эс} = f(\ln Np)$: а - твердые износостойкие материалы (1 - Т15К6, 2 - ВК8, 3 - хром, 4 - молибден, 5 - вольфрам); б - мягкие антифрикционные металлы (1 - олово, 2 - медь, 3 - индий)

Таким образом, на основании проведенных экспериментальных работ установлены закономерности зависимостей основных качественных характеристик легированного слоя от технологических параметров процесса ЭЭЛ с использованием электродов как из твердых износостойких, так и мягких антифрикционных материалов. Определенные зависимости позволят в дальнейшей работе создавать комбинированные электроэрозионные покрытия с требуемыми эксплуатационными характеристиками.

SUMMARY

The regularities of dependence of parameters of electric-erosion alloyed layers on technological parameters of process were determined.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарельник В.Б. Комбинированные технологии электроэрозионного легирования. - К.: Техника, 1997. - 128с.

Поступила в редколлегию 20 ноября 1998 г.

УДК 621.548

ОДИН ИЗ ВАРИАНТОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ВЕТРА В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ЭНЕРГИЮ

И.Н. Кощиченко, мл. науч. сотр.

Современное производство ветроустановок (ВЭУ) должно предполагать и наличие рынка сбыта. Для ветроустановок малой мощности $P < 50$ кВт потенциальными покупателями, в первую очередь, могут быть