

УДК 621.923

**В.П. ТКАЧЕНКО**, канд. техн. наук, **В.Ф. ПЛУЖНИК**, ОАО завод «Потенциал», **Ф.В. НОВИКОВ**, докт. техн. наук, ХНЭУ, г. Харьков

## ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ РЕЛИТОВЫХ ТОРЦОВЫХ УПЛОТНЕНИЙ

У роботі приведені результати досліджень технології виготовлення зносостійких релітових торцевих ущільнень

In work results of researches of manufacturing techniques of wearproof face condensation from relit resulted.

Анализ условий работы торцовых уплотнений погружных электродвигателей показывает, что наиболее важными требованиями, которым должны удовлетворять торцовые уплотнения, являются их высокая износостойкость и герметичность при длительной работе в агрессивной пластовой жидкости. Этим требованиям удовлетворяют релитовые торцовые уплотнения при условии химической стойкости стального корпуса [1]. Применявшиеся ранее торцовые уплотнения с парой трения «минералокерамика - углеграфит», не обладают высокой износостойкостью

вследствие гидроабразивного изнашивания трущейся поверхности графитового кольца. А силицированные графиты, хотя и обладают высокой износостойкостью, однако также как и твердые сплавы типа ВК и минералокерамики ЦМ332, имеют существенные технологические и эксплуатационные недостатки (трудоемкость в изготовлении, высокая стоимость, хрупкость), что ограничивает возможности их применения. Поэтому наиболее перспективными являются релитовые торцовые уплотнения.

Основной особенностью релитовых колец является использование в качестве основы стального кольца, рабочая торцовая поверхность которого выполняется из релита (карбида вольфрама) и медной связки. В результате получается композиционный материал, обладающий высокой износостойкостью и антифрикционностью. Релит представляет собой зерна литого карбида вольфрама двух видов: WC и W<sub>2</sub>C, образующих эвтектическую смесь. Релит содержит 95-96% вольфрама и 3,7-4,2% углерода, в том числе свободного углерода не более 0,1%.

Технологический процесс изготовления релитовых колец осуществляется следующим образом. На рабочем торце стальной заготовки выполняется кольцевая канавка прямоугольного сечения, стенки которой покрываются тонким слоем меди. Обычно меднение осуществляется гальваническим способом. Затем в канавку засыпают равномерный слой зерен релита и с помощью пуансона прессуют этот слой с удельным давлением  $(3-4)10^8$  Н/м<sup>2</sup>. Затем, спрессованный слой засыпают порошком меди и прессуют тем же пуансоном с тем же удельным давлением. Полученную заготовку помещают в вакуумную печь, где при температуре 1150-1200°C происходит пропитка спрессованного слоя расплавленной медью. Остаточное давление в вакуумной печи необходимо поддерживать в пределах  $10^{-2}-10^{-3}$  мм рт.ст. Расплавленная медь проникает в поры между зернами релита, в результате чего на рабочем торце образуется прочно сцементированный и связанный со стальной основой слой, состоящий из твердых зерен релита и медной связки. После этого производится механическая обработка, в результате чего получается готовое износостойкое релитовое кольцо. Механическая обработка обычно включает шлифование рабочего торца алмазным кругом с последующей притиркой на чугунной плите алмазным порошком или алмазной пастой.

Были проведены металлографические и металлофизические исследования релитовых колец. Исследования опытных образцов проводились с помощью микроскопа МИР-2 на шлифах, изготовленных в продольном и поперечном сечениях с помощью алмазной пасты. Выявление эвтектического строения карбидов вольфрама осуществлялось путем травления шлифов в щелочном водном растворе красной кровяной соли.

Таблица 1

## Характеристики исследуемых образцов

№ образца	Толщина релитового слоя, мм	Время выдержки в вакуумной печи при температуре 1150°C
1	1,5	2
2	3,0	2
3	3,0	4

При сравнительной оценке структурного состояния продольного сечения опытных образцов № 1, 2, 3 было установлено, что величина карбидных зерен, состоящих из эвтектики  $WC+W_2C$ , в основном одного порядка. При этом распределение их относительно равномерное. Строение эвтектики четко дифференцировано и отличается в исследуемых образцах следующими особенностями: в образце №1 (рис. 1,в) строение эвтектики грубое; в образце №2 (рис. 2,в) – смешанное, т.е. тонкодисперсное, тонкое, грубое; в образце №3 (рис. 3,в) – преимущественно тонкое, что является благоприятным фактором с точки зрения состояния материала. Почти во всех случаях преобладает карбид вольфрама  $W_2C$  (светлый цвет).

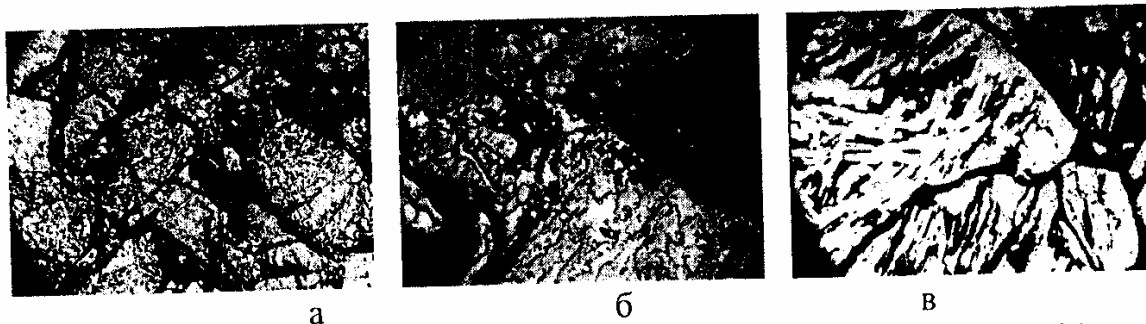


Рис. 1. Микроструктура поверхности опытного образца релитового кольца №1 после травления: а –  $\times 134$ ; б –  $\times 596$ ; в –  $\times 596$ . Строение эвтектики  $W_2C$  – светлый цвет,  $WC$  – темный цвет.

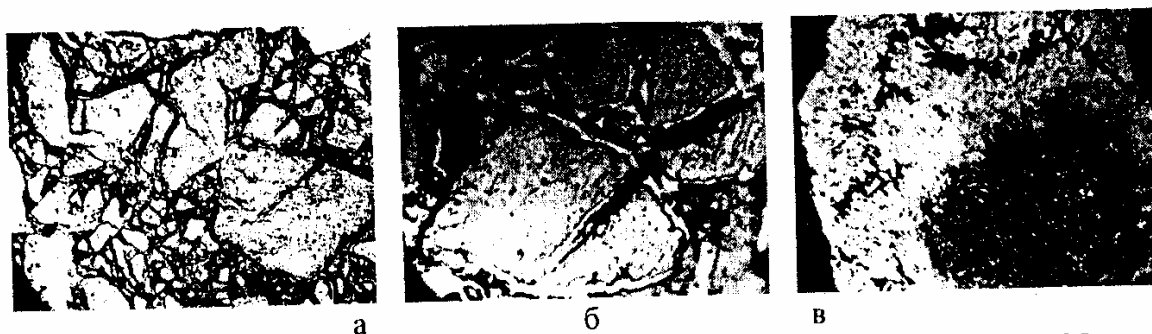


Рис. 2. Микроструктура поверхности опытного образца релитового кольца №2 после травления: а –  $\times 134$ ; б –  $\times 596$ ; в –  $\times 596$ . Строение эвтектики  $W_2C$  – светлый цвет,  $WC$  – темный цвет.

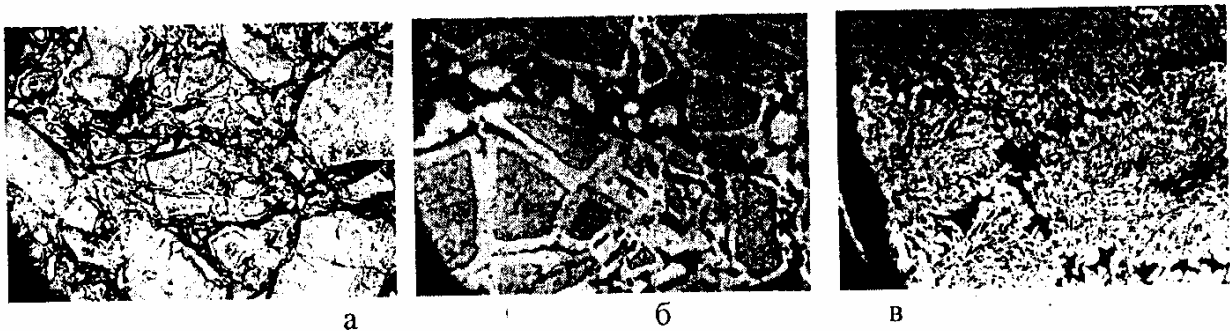


Рис. 3. Микроструктура поверхности опытного образца релитового кольца №3 после травления: а –  $\times 134$ ; б –  $\times 596$ ; в –  $\times 596$ . Строение эвтектики  $W_2C$  – светлый цвет, WC – темный цвет.



Рис. 4. Микроструктура поперечного сечения образца релитового кольца №3 (угловой стык),  $\times 80$ .

При исследовании поперечного сечения различных образцов установлена идентичность структуры с выявленной на продольных шлифах соответствующих образцов. При исследовании поперечного сечения образцов были выявлены переходные зоны в месте контакта релита и стальной основы. Это было достигнуто специальными методами притирки и полировки-шлифовки. Во всех исследованных образцах были обнаружены две контактные переходные зоны, плотно соединяющие релит со сталью: зона медная, прилегающая к стальной основе кольца, и стальная легированная перлитная кайма, расположенная между медной подложкой и релитом. Медный подслоя диффузионного типа в образце №1 составлял 0,036-0,144 мм, в образце №3 – 0,09 – 0,234 мм. Толщина перлитной легированной каймы, образование которой, по видимому, обусловлено диффузионными процессами, возникающими при высокотемпературной пропитке слоя релита, в образце №1 достигла 0,036 мм, а в образце №3 – 0,054-0,072 мм. Следует отметить, что в местах угловых стыков релитового слоя со сталью почти отсутствовал медный подслоя, но при этом в соединении не были

обнаружены несплошности контакта (рис. 4) при наличии легированной каймы, которая во всех случаях была обнаружена.

В отличие от сталей, как углеродистых, так и специальных, твердые литые карбиды вольфрама обладают высокой твердостью, которая свойственна им в литом состоянии и не зависит от термической обработки.

Поскольку спрессованный слой релита, пропитанный медью, характеризуется резко выраженной структурой гетерогенного типа, оказалось целесообразным определить на шлифах микротвердость отдельных структурных составляющих с помощью прибора ПМТ-3 при нагрузках 50 и 20 г. Данные измерений микротвердости поперечного сечения шлифов (табл. 2) хорошо дополнили структурную характеристику пропитанного слоя релита и переходных зон в месте контакта релитового слоя и стальной основы кольца.

Таблица 2

№ образца	Переходная зона			Релитовый слой	
	стальная основа	медный подслоя	легированная перлитная кайма	медная прослойка	карбидная эвтектика
1	296-312,4-338	148,3-133,3	267,6-568,8-685,5	148,8-118,6-110,9	1714-2227-2438
3	231,4-267-246,4	148,8	431,4-338-254,2	122,8	1846-2227-2438

Особый интерес представляет в контактной зоне легированная перлитная кайма, обеспечивающая прочность и плотность соединения. Разброс значений твердости этой зоны обусловлен структурно-химическим фактором. Измерения микротвердости, выполненные вблизи медного подслоя, показали меньшую твердость по сравнению с измерениями, выполненными вблизи релитового слоя, что свидетельствует о разной степени легирования каймы.

Разброс значений твердости релита, представляющего собой карбидную эвтектику, также вполне закономерен и соответствует твердости монокарбида WC, содержащего 6,13% углерода, и твердости карбида вольфрама W<sub>2</sub>C, содержащего 3,16% углерода. Характеристика микротвердости стальной основы правомерно отражает чрезвычайно крупнозернистую (перегретую) ферритоперлитовую структуру корпуса кольца.

Для определения содержания меди в слое релита, пропитанного медью, навеску в 1 г, взятую с рабочего слоя образца, растворяли в смеси концентрированных азотной и серной кислот. После фильтрования раствора методом электролиза определяли содержание меди. В результате установлено, что содержание меди в рабочем слое составляет 11-18%.



Рис. 5. Цианистое меднение поверхности кольца из стали 40Х (x90).



Рис. 6. Микроструктура переходной зоны релитового слоя со сталью 1X18H9Т с предварительным серноокислым меднением (x90).

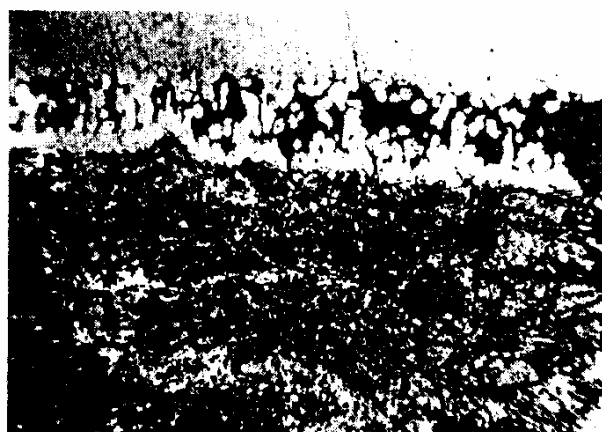


Рис. 7. Микроструктура переходной зоны релитового слоя со сталью 1X18H9Т с предварительным цианистым меднением (x90).

Значительный интерес представляли металлографические исследования релитовых колец, изготовленных из нержавеющей стали 1X18H9Т с предварительным гальваническим меднением в цианистых и серноокислых ваннах. Толщина медного подслоя, определенная на образце после цианистого меднения составила 0,017-0,028 мм (рис. 5). При исследовании переходных зон в месте контакта рабочего релитового слоя со стальной основой на поперечных шлифах было зафиксировано плотное соединение релита со сталью. Во всех случаях, независимо от предварительного меднения, наблюдался медный подслоя преимущественно диффузионного характера (рис. 6, рис. 7). Следует отметить, что при отсутствии предварительного гальванического меднения в отдельных случаях слой меди был несколько тоньше. Сравнительным исследованием образцов, выполненных с различным режимом меднения, не установлено преимущество одного режима над другим. Однако, следует считать предпочтительным режим меднения в серноокислой ванне, характеризующийся большой скоростью и технологичностью процесса. Повышенная же зернистость осажденной меди в серноокислой ванне не имеет существенного значения в связи с последующей высокотемпературной обработкой запрессованного релита в вакуумной печи.

Кроме того, в случае предварительного меднения нержавеющей стали в цианистой ванне, получается медный слой, который легко снимается со стальной поверхности, а сернокислое меднение обеспечивает хорошую адгезию медного слоя с нержавеющей сталью. Необходимо отметить, что в некоторых случаях и при отсутствии предварительного меднения стальных поверхностей обеспечивается адгезия рабочего релитового слоя со сталью, т.к. по-видимому, имела место сквозное проникновение расплавленного порошка меди при обработке в вакуумной печи.

При микроисследовании структуры релитового слоя было также зафиксировано эвтектическое строение с медными прослойками. Эвтектика представляла собой смесь двух видов карбидов: монокарбида WC, содержащего 6,13% углерода, и дикарбида W<sub>2</sub>C, содержащего 3,16% углерода. Эвтектика располагается в виде крупных зерен, сцементированных медной составляющей.

Для изучения влияния глубины вакуума в процессе пропитки релитового слоя медью были изготовлены 4 опытных образца из стали 40X и нержавеющей стали 1X18H9T с пропиткой медью в печи СЭВ 3-3/11,5 МО1 при глубине вакуума 10<sup>-2</sup>-10<sup>-3</sup> мм рт. ст. и в печи с глубиной вакуума порядка 1-2 мм рт. ст.

Таблица 3

Характеристики образцов

№ образца	Марка стали	Глубина вакуума в вакуумной печи
1	Нержавеющая сталь 1X18H9T	1-2 мм рт. ст.
2	Сталь 40X	10 <sup>-2</sup> -10 <sup>-3</sup> мм рт. ст.
3	Сталь 40X	1-2 мм рт. ст.
4	Нержавеющая сталь 1X18H9T	10 <sup>-2</sup> -10 <sup>-3</sup> мм рт. ст.

Для проведения рентгенофазового анализа были подготовлены соответствующих размеров образцы релитовых колец размером 15x10x5 мм с характеристиками, указанными в табл. 3. Рентгеносъемки в цилиндрической камере Ø 57,3 мм произведены в излучении железного анода. Оценка содержания фаз произведена визуально по соответствию интенсивности характерных дифракционных линий. В результате установлено, что основными фазами во всех образцах являются WC и W<sub>2</sub>C. Соотношение их концентраций во всех образцах практически одинаково. В образце №1 на грани чувствительности выявлены следы меди с содержанием порядка 1%. В остальных образцах много меди – порядка 10-20%. По возрастанию содержания меди образцы располагаются в следующем порядке: 3, 4, 2. В образце №3 имеется нерасшифрованная дополнительная фаза.

Таким образом, рентгенофазовый анализ различных образцов показал,

что для изготовления релитовых колец из нержавеющей стали 1X18H9T необходимо применять вакуумные печи с большой глубиной вакуума, поскольку при низком вакууме меди в релитовом слое практически нет, т.е. отсутствует связывающий материал, без которого, естественно, спрессованный релитовый слой обладает низкой прочностью и непригоден к работе в условиях торцовых уплотнений. Это объясняется, по-видимому, тем, что в процессе вакуумной пропитки релитовых колец из нержавеющей стали 1X18H9T выделяется значительное количество газообразных веществ, которые существенно снижают величину вакуума в печи. Поэтому в вакуумной печи может происходить значительное подавление вакуума, что приводит к замедлению процесса пропитки. В результате расплавленная медь не проникает в поры между спрессованными зёрнами релита. Это подтверждается также проведенными исследованиями вышеуказанных образцов на масс-спектрометре. Характерным является также снижение величины вакуума в печи СЭВ 3-3/11,5 МО1 в процессе откачки и повышения температуры при обработке релитовых колец из нержавеющей стали. В интервале 700-900°C происходит значительное снижение вакуума, что вызывает необходимость дополнительной откачки печи. По-видимому, в этой печи не обеспечивается откачка выделяющихся газообразных веществ из нержавеющей стали 1X18H9T и в результате в печи не происходит необходимой пропитки спрессованного слоя релита расплавленной медью. Поэтому в некоторых случаях при проверке прочности релитового слоя после обработки в вакуумной печи с помощью ударов визуально наблюдалось даже выкрашивание релита.

Таким образом, металлографические и металлофизические исследования показали, что независимо от толщины слоя при выдержке в печи при рабочей температуре, в течение двух часов при глубине вакуума  $10^2$ - $10^3$  мм рт. ст. обеспечивается хорошая пропитка спрессованных зёрен релита медью и плотное соединение релитового слоя со стальной основой.

**Литература:** 1. *Ткаченко В.П.* Підвищення ефективності технології прецизійної обробки ущільнювальних кілець із композиційного матеріалу на основі реліту. – Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - Харків: НТУ"ХП", 2004. – 21 с.

*Поступила в редколлегию 28.10.04*