

## ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

УДК 669.131.621.765.6

Ю.Г. Гуревич

### ИЗНОСОСТОЙКИЕ ДЕТАЛИ ИЗ ПОРОШКОВОЙ СТАЛИ

**Цель работы** использовать контактное (эвтектическое) плавление для нанесения беспористого слоя белого чугуна на детали из пористой порошковой стали для их работы в условиях трения и износа

Известно, что одним из лучших материалов, работающих в условиях трения, является белый чугун, который обладает низким коэффициентом трения и высокой износостойкостью [1].

Поэтому деталь из белого чугуна, работающая в условиях трения, обладает не только повышенной износостойкостью, но и эффективным видом изнашивания.

Вместо изнашивания, со схватыванием, которое часто наблюдается при работе стальных деталей, наблюдается абразивное изнашивание при трении деталей из белого чугуна. Такие свойства белого чугуна обусловлены высокой твердостью ледебуритной эвтектики, а также наличием карбидов (цементита) в структуре заэвтектоидного чугуна.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Чугун с ледебуритной структурой может быть получен двумя способами: отбелом соответствующих зон детали в процессе ее отливки и методом местного эвтектического (контактного) плавления [2].

Исследования показали, что оба варианта ле-

дебуритной структуры имеют одинаковую работоспособность [3].

Между тем, способ местного эвтектического плавления имеет преимущества, состоящие в большей точности и стабильности результатов, существенно большей производительности, возможности автоматизации производства и меньшей стоимости обработанных этим методом деталей.

Разработанный способ электроконтактной химико-термической обработки (ЭКХТО) деталей из пористых порошковых сталей, в результате которой на их поверхности образуется слой белого чугуна, прост, надежен и позволяет формировать плотные, беспористые износостойкие покрытия, хорошо сцепляемые с основным металлом [4,5].

На поверхность детали из пористой стали наносится графитовый порошок, после чего к ней прижимается ролик-электрод и пропускается электрический ток (рис.1).

Таким образом, в качестве контакта используется соединение деталь-графит. В результате нагрева контакта до  $1200^{\circ}\text{C}$  возникает эвтектическое (контактное) плавление системы железо-графит и на поверхности стальной детали образуется капля жидкого чугуна, которая из-за быстрого охлаждения отбеливается (рис.2).

Расчеты и эксперименты показали, что скорость охлаждения составляет более, чем  $1000^{\circ}\text{C/c}$

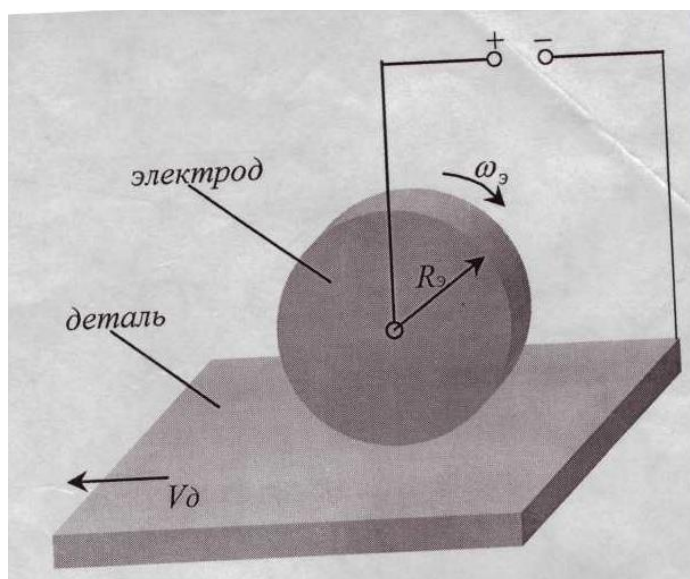


Рис. 1 Схема электроконтактного нагрева



Рис. 2 Слой белого чугуна, на стали, полученные

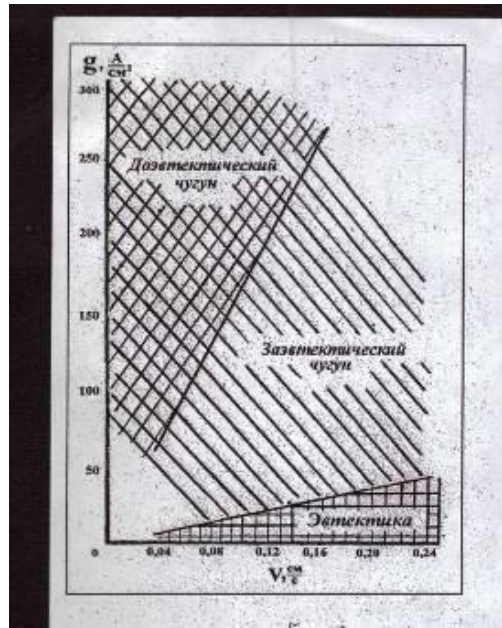


Рис. 3 Режимы ЭКХТО, способствующие образованию белого чугуна различного состава

[6]. Изменяя плотность тока и скорость движения ролика-электрода можно, в результате ЭКХТО, получать слои доэвтектического, эвтектического и заэвтектического чугуна (рис. 3).

Кроме достаточно высокой производительности, предлагаемый способ нанесения износостойкого покрытия имеет следующие преимущества:

- процесс нанесения слоя белого чугуна на стальную поверхность методом ЭКХТО сравнительно легко поддается автоматизации;
- разработанный процесс ЭКХТО устраняет поверхностную пористость деталей, спеченных из порошковых сталей, что весьма сильно повышает их износостойкость.

методом ЭКХТО X 200.

Слои белого чугуна наносили на сталь ПК60, ПК70ДЗ и ПК100Д. Сталь ПК60, плотностью 6,6 г/см<sup>3</sup>, содержала 0,56% углерода. Микроструктура - 45 % феррита, включения цементита 1-2 бал-

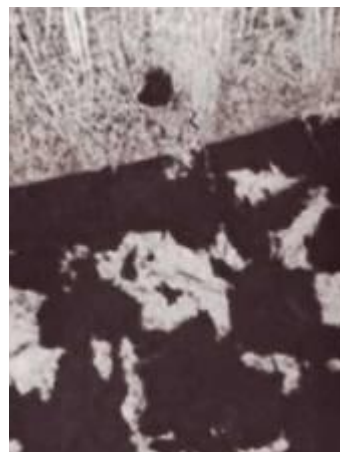
ла шкалы 5 ГОСТ 8233-56, остальное перлит. Твердость 100-120 НВ. Сталь ПК70ДЗ плотностью 7,0 г/см<sup>3</sup> содержала углерода 0,81-0,90 %, меди 2,77-2,87 %, Микроструктура - 10-15 % феррита, включения цементита 1 балл шкалы 5 ГОСТ 8233-56, остальное перлит. Твердость 135-150 НВ.

Сталь ПК60 исследовалась после ЭКХТО по режиму, обеспечивающему образования белого чугуна эвтектического состава. Белый чугун имел структуру тонкодисперсной эвтектики, под ним переходная зона (ПЗ) толщиной 40-50 мкм, имеющая структуру мартенсита (содержание углерода ~1 %) с включениями цементита. Микро- твердость этой зоны - 5000 МПа. Далее - зона химико- термического влияния (ХТВ) глубиной 200 мкм.

Сталь ПК70ДЗ исследовалась после наплавления как эвтектического, так и заэвтектического чугуна (рис.4).



а



б

Рис. 4-Слои эвтектического (а) и заэвтектического (б) белого чугуна на порошковой стали ПК70ДЗ, х 200.

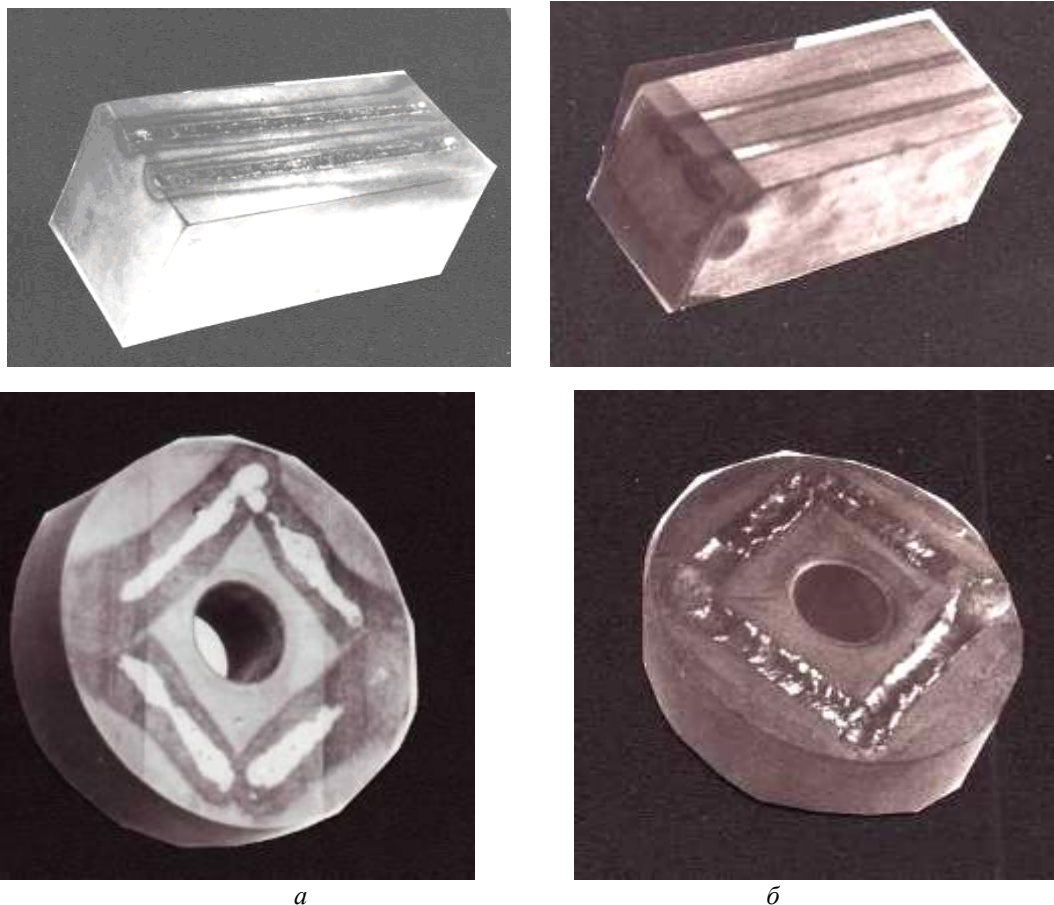


Рис.5 Поверхность деталей из порошковых сталей ПК60 и ПК100ДЗ: а - после ЭХТО; б - после шлифовки.

И в том, и в другом случае в переходной зоне наблюдается высокоуглеродистый (светлые участки) и низкоуглеродистый (темные участки) мартенсит, что можно объяснить неоднородностью порошковой стали. Микротвердость малоуглеродистого мартенсита 5000 МПа, высокоуглеродистого - 7000 МПа. В более глубоких слоях мартенсит переходит в перлитную структуру.

Зона химико-термического влияния, как и переходная зона, способна надежно, удерживать износостойкий безпористый слой белого чугуна и принимать сжимающие нагрузки в условиях сжатия и трения

Дорожки электроконтактного упрочнения имеют грубую шероховатую поверхность и по внешнему виду напоминают, как и после лазерной обработки, сварочные швы. Ширина дорожки 2-5 мм, глубина до 1,0 мм (рис.5-а.). Для получения необходимого качества поверхности ее надо шлифовать (рис.5-б).

В табл.2 приведены данные, показывающие необходимую глубину шлифовки поверхности изделий после ЭХТО.

Многие узлы трения необходимо изготавливать с высокими триботехническими характеристиками поверхностных слоев контактирующих деталей. До сих пор изделия из порошковых сталей не могли удовлетворять этим требованиям и

поэтому методы порошковой металлургии для получения деталей, работающих на износ, решительно отвергались.

Возможность значительно расширить номенклатуру порошковых изделий при условии применения сравнительно простого высокопроизводительного и дешевого способа нанесения поверхностного износостойкого покрытия не вызывает сомнений.

Износостойкий поверхностный слой на изделиях дает возможность производить методами порошковой металлургии немало деталей для швейной, текстильной и обувной промышленности, где применяются машины, имеющие достаточно много мелких деталей, работающих с небольшими нагрузками в условиях сухого трения и износа.

Процесс изнашивания деталей зависит от многих факторов, к которым в первую очередь следует отнести: сочетание физико-механических свойств трущихся материалов; скорость их относительного перемещения; удельное давление; смазка.

Количественное соотношение этих и других факторов определяет характер износа. В то же время в любых условиях трения существует процесс, протекающий с наибольшей скоростью, он и определяет вид износа [7].

Таблица 1. Производительность процесса ЭКХТО

| N п.п. | Диаметр ролика-электрода, см | Толщина ролика-электрода, см | Скорость перемещения электрода, см/с | Ширина шва, см | Производительность, см <sup>2</sup> /с |
|--------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|----------------|----------------------------------------|
| 1      | 8.0                          | 0.2                          | 0.45                                 | 0.3            | 0.135                                  |
| 2      | 8.0                          | 0.3                          | 0.45                                 | 0.4            | 0.180                                  |
| 3      | 10.0                         | 0.2                          | 0.15                                 | 0.3            | 0.045                                  |
| 4      | 10.0                         | 0.3                          | 0.15                                 | 0.4            | 0.060                                  |
| 5      | 10.0                         | 0.2                          | 0.08                                 | 0.3            | 0.024                                  |
| 6      | 10.0                         | 0.3                          | 0.08                                 | 0.4            | 0.032                                  |
| 7      | 9.0                          | 0.2                          | 0.06                                 | 0.3            | 0.018                                  |
| 8      | 10.0                         | 0.2                          | 0.045                                | 0.4            | 0.018                                  |

Таблица 2. Толщина слоя белого чугуна после шлифовки

| N п.п. | Толщина слоя чугуна после ЭКХТО, мм | Толщина отшлифованного слоя, мм | Толщина слоя чугуна после шлифовки, мм |
|--------|-------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------|
| 1      | 0.1                                 | 0.05                            | 0.05                                   |
| 2      | 0.2                                 | 0.06                            | 0.14                                   |
| 3      | 0.3                                 | 0.05                            | 0.05                                   |
| 4      | 0.5                                 | 0.15                            | 0.35                                   |
| 5      | 0.8                                 | 0.26                            | 0.54                                   |
| 6      | 1.0                                 | 0.42                            | 0.58                                   |
| 7      | 1.5                                 | 0.60                            | 0.90                                   |
| 8      | 2.0                                 | 0.65                            | 1.35                                   |

Таблица 3. Средний износ материалов

| Материал         | Износ, г     |                   | Примечание                                                 |
|------------------|--------------|-------------------|------------------------------------------------------------|
|                  | Сухое трение | Трение со смазкой |                                                            |
| ПК60             | 0.270        | 0.008             | Образцы из стали ПК60 с пористостью 7-12: пропитаны-маслом |
| Ст.45            | 0,250        | 0.006             |                                                            |
| P6M5             | 0.060        | 0.0015            |                                                            |
| ПК60 с покрытием | 0.045        | 0.0008            |                                                            |

Таблица 4. Износ опытных образцов

| Материал                                            | Удельная работа износа $\alpha$ , Дж/мг |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Ст.45 отожженная                                    | $3.26 \pm 0.64$                         |
| Ст.45 закаленная                                    | $3.72 \pm 0.18$                         |
| Ст.45 покрытая белым чугуном (площадь покрытия 50%) | $6.41 \pm 0.17$                         |
| Ст.45 покрытая белым чугуном (площадь покрытия 25%) | $5.39 \pm 0.16$                         |
| Хромистый чугун *2.8%С; 14.7 %Cr)                   | $6.38 \pm 0.27$                         |

В исследованиях М.М. Хрущева и М.А. Бабищева установлена линейная зависимость между увеличением относительной износостойкости и твердостью различных материалов и сплавов, причем повышение износостойкости связано с увеличением твердости и снижением пластичности поверхностного слоя. С другой стороны, есть данные, что применение борирования или силицирования при работе деталей под давлением неэффективно, поскольку приводит к увеличению износа без повышения производительности.

Установлено, что белый чугун является единственным материалом, который при любых условиях сохраняет именно абразивный, а не адгези-

онный характер износа, то есть при работе детали не происходит схватывания. Такой характер износа является наиболее благоприятным, удовлетворяющим предъявляемым требованиям при работе в условиях трения под давлением.

Большое преимущество белого чугуна при работе в условиях сухого трения и абразивного износа состоит также в том, что он при повышении температуры он не испытывает отпуска и не теряет износостойкости в отличие от закаленной стали.

Испытания на износостойкость образцов проводили на машине трения 2070 СМТ-1 по схеме "вал - вкладыш". Массовый износ определялся у

вкладыша, взвешивание производили на весах АДВ-200 с точностью измерения до 0,1 мг. По весовому износу определяли интенсивность изнашивания [8].

Исследовалась интенсивность износа образцов в зависимости от пути трения из сталей 45 и Р6М5, закаленных на мартенсит; порошковой стали ПК60 до и после покрытия белым чугуном. Вал, по которому терся вкладыш, был сделан из отожженной стали 18ХН3А. За начало отсчета выбирали время стабилизации процесса трения по всем четырем материалам. Результаты среднего износа вкладыша на пути трения 11000 м представлены в табл. 3..

Как следует из приведенных данных, средний износ образцов из стали ПК60, покрытой белым чугуном, в условиях сухого трения в 6 раз ниже, чем у стали ПК60, в 5,5 раза - чем у стали 45, в 1,3 - чем у стали Р6М5. В условиях трения со смазкой средний износ образцов из ПК60 после ЭКХТО в 10 раз ниже, чем у стали ПК60 неупрочненной, в 7,5 раз - чем у стали 45 и в 1,9 раза - чем у Р6М5.

Одной из самых объективных характеристик материала является удельная работа его износа ( $\alpha$ ), определяемая величиной работы  $A$ , затрачиваемой на уменьшение единицы массы изнашиваемого образца. Абразивный износ образцов оп-

ределялся на установке для испытания материалов.

Измерение удельной работы износа опытных образцов из стали ПК60 неупрочненной и из ПК60 после ЭКХТО производилось истиранием исследуемой поверхности по абразивной ленте. Скорость протягивания абразивной ленты над образцами поддерживалась постоянной и составляла 0,015 м/с.

Результаты испытаний представлены в табл. 4.

#### Выводы

1. Разработан сравнительно простой процесс покрытия поверхности деталей из пористой порошковой стали беспористым износостойким слоем белого чугуна.

2. Износостойкость покрытия, полученного методом ЭКХТО на порошковой стали ПК60, в условиях абразивного износа соизмерима с износостойкостью высокохромистого чугуна.

3. Показана возможность значительного расширения номенклатуры порошковых изделий при условии применения сравнительно простого высокопроизводительного и дешевого способа нанесения поверхностного износостойкого покрытия.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыжов Э.В. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин. - Киев: Наукова думка. 1984. .
2. Залкин В.М. Некоторые положения теории эвтектических сплавов и освещение теории в учебной литературе по металлосведению // МиТОМ. 2009. №4. С. 3-10
3. Голубец В.М., Пашечко В.И., Одексив Б.Я. Оценка износостойкости эвтектических покрытий // ФХММ. 1985. №4. С. 41-44.
4. Ю.Г. Гуревич, А.П. Кузьмичева, Д.Е. Дорфман. Электроконтактное термоупрочнение с целью повышения износостойкости // Изв. вузов. Черная металлургия. 1991. №8. с.93-96.
5. Гуревич Ю.Г., Анциферов В.Н., Савиных Л.М., Оглезнева С.А., Буланов В.А. Износостойкие композиционные материалы. - Екатеринбург: УрО РАН. 2005.
6. Андрияхин В.М. Процессы лазерной сварки и термообработки. - М: Наука. 1988. 176 с.
7. Райнке Ф.Х. Структура и свойства чугуна после отбеливания поверхностным переплавом // МиТОМ. 1989. № 5. с.43-50.
8. Серебряков В.Е., Соколова Н.М., Гулякова С.С. Установка для испытания металлов и сплавов на износ / Совершенствование машиностроительных материалов, конструкций машин и методов обработки деталей. - Челябинск: 1988. с.14-17.

□ Автор статьи

Гуревич  
Юрий Григорьевич,  
докт. техн. наук, проф.  
каф.энергетики и технологии метал-  
лов Курганского государственного  
университета  
Email:ygg@rambler.ru