

УКД 621.721.92

**Кузнецов В. Д., Пашенко В. Н., Маковой В. А.**

### **ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ УГЛЕРОДИСТЫХ И АУСТЕНИТНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ПРИ ТРЕНИИ МЕТАЛЛА ПО МЕТАЛЛУ**

Для деталей, работающих в условиях трения и действия нагрузок, в реальных условиях наблюдается не только механический вид изнашивания, но и другие, в том числе адгезионный, как подвид молекулярно-механического, а также малоцикловая усталость, что определяет требования к материалам для их изготовления [1].

Как правило, такие детали и узлы изготавливаются из средне- и высокоуглеродистых конструкционных сталей. Повышенное содержание углерода обеспечивает высокую прочность, твердость и износостойкость этих материалов.

Однако, при содержании углерода больше 0,5 %, значительно усложняется технология восстановления деталей, например, наплавкой, что связано с образованием закалочных структур и появлением холодных трещин. Появления трещин можно избежать применением специальных технологических мер, в том числе подогрева до 400 °С. Подобные ограничения отсутствуют при восстановлении напылением, поскольку нагрев основы не превышает (100...150) °С.

Согласно [2] достаточно высокую износостойкость в условиях трения металла по металлу, при наличии нагрузок обеспечивают материалы с мартенситной матрицей, упрочненной карбидами, а также с метастабильной структурой марганцевого и хромомарганцевого аустенита, склонного к деформационному упрочнению и фазовому наклепу.

Получение таких структур, особенно при восстановлении изношенных поверхностей наплавкой, определяется не только химическим составом наплавочных материалов, но и условиями охлаждения. Имеющиеся данные [2] ограничиваются только указаниями на основной состав элементов и диапазон их изменения, хотя при заданном составе элементов в зависимости от условий охлаждения тип структур может быть различным. Кроме того, в рекомендациях [2] не приводятся какие-либо сравнительные количественные данные по износостойкости рекомендованных структурных групп для условий трения, что также затрудняет выбор материалов.

Указанные обстоятельства требуют экспериментальной оценки износостойкости рекомендуемых углеродистых и аустенитных композиций, что и являлось целью данной работы.

Целью данной работы является исследование композиций наплавленного металла, которые отвечают структуре и, соответственно, химическому составу, рекомендуемых литературой для условий трения металла по металлу с нагрузкой [2]. Для исследований применяли отечественные порошковые проволоки, электроды ЦНИИН-4 и электроды фирмы Castolin. Химический состав наплавленного металла приведен в табл. 1

Газотермическое напыление упрочняющих слоев на поверхности изнашивания производилось плазменным методом (воздушная плазма) двумя материалами на основе никеля. Был использован сплав никеля с хромом и самофлюсующийся материал на никелевой основе с добавками бора и кремния. Оба материала подвергались последующей обработке в виде нагрева со стороны поверхности образца до температуры (1000–1050) °С.

Триботехнические испытания проводили на машине трения типа М-22 по схеме «вал-колодка». Использовали образцы длиной 20 мм и шириной 10 мм с цилиндрическим пазом в виде сегмента с радиусом 20 мм и хордой 20 мм.

В качестве контртела использовали диск диаметром 40 мм, который был изготовлен из стали P75 твердостью HB (300–350).

Таблица 1

## Химический состав наплавленного металла

| № образца | Массовая доля в процентах |      |      |      |      |     |     |      |      |
|-----------|---------------------------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|
|           | C                         | Cr   | Mn   | Ni   | Si   | Mo  | V   | Ti   | Cu   |
| 24        | 0,7                       | 0,05 | 0,89 | 0,04 | 0,25 | –   | –   | –    | –    |
| 30        | 0,5                       | 1,1  | 0,8  | 1,7  | 0,43 | 0,5 | –   | 0,4  | –    |
| 10        | 0,62                      | 20,8 | 9    | 2    | 0,55 | 0,5 | –   | –    | 0,17 |
| 23        | 0,27                      | 4,5  | 5    | –    | 0,2  | –   | –   | 0,08 | –    |
| 26        | 0,5                       | 0,2  | 11   | 0,08 | 0,8  | 0,3 | –   | –    | –    |
| 9         | 0,22                      | 13   | 5,8  | 6    | 0,6  | 1,4 | 0,4 | –    | 0,9  |
| 7         | 0,11                      | 11   | 10   |      |      |     |     | 0,8  |      |

Условия испытаний: давление на образец –  $p = 0,5 \pm 0,1$  МПа; скорость трения –  $v = 3 \pm 0,25$  м/с; температура испытаний –  $T = 60 \pm 20$  °С; продолжительность испытаний –  $t = 1$  час.

Образцы взвешивали до и после испытаний на точных лабораторных весах с погрешностью 0,0001 г. Износ по массе определяли как разницу значений массы ( $\Delta m$ ) образца до и после испытаний.

Параллельно измеряли твердость, требования к значениям которой, как правило, указывается в технической документации на восстановление.

Структуры наплавленного металла идентифицировали по результатам металлографического анализа. Получение структур мартенситного и аустенитного типа определялось подбором наплавочных материалов и погонными энергиями наплавки. При наплавке аустенитных использовали рекомендации работы [3].

Таким образом, для исследований были получены метастабильные аустенитные структуры, структуры сорбита закалки и мелкоигльчатого мартенсита в аустенитной матрице, а также мартенсита.

Результаты испытаний показали (рис. 1), что прямая связь между твердостью и износостойкостью проявляется не всегда как для углеродистых, так и аустенитных композиций.

Так, например, мартенситобейнитная структура имеет меньшую износостойкость ( $\Delta m = 0,08$  г) при повышенной твердости (42 HRC) относительно основы (32 HRC). Аустенитная структура с твердой составляющей (аустенит + сорбит закалки) при таких же значениях твердости (42 HRC), как и мартенситобейнитная структура, имеет износостойкость ( $\Delta m = 0,11$  г), близкую к высокоуглеродистой основе со структурой троостита ( $\Delta m = 0,12$  г).

Аустенитные композиции с твердой составляющей (аустенит + мелкоигльчатый мартенсит) по сравнению с высокоуглеродистой основой при практически одинаковой твердости (31...32 HRC) могут иметь в пять раз выше износостойкость ( $\Delta m = 0,022$  г) и, наоборот, при большей твердости (аустенит + сорбит закалки) – практически одинаковую с основой износостойкость.

Хромоникельмарганцевая композиция имеет в два раз большую износостойкость ( $\Delta m = 0,065$  г), чем высокомарганцевая ( $\Delta m = 0,11$  г), при практически незначительной одинаковой исходной твердости 13–15 HRC.

Выявленные особенности метастабильных аустенитных структур могут быть результатом того, что в принятых условиях испытаний на износостойкость, хромоникельмарганцевая и хромомарганцевая композиции проявляют склонность к деформационному упрочнению и фазовому наклепу. Вместе с тем, марганцевая композиция в этих условиях такую способность не проявляет, и полученные результаты отображают значения износостойкости в исходном состоянии после наплавки.

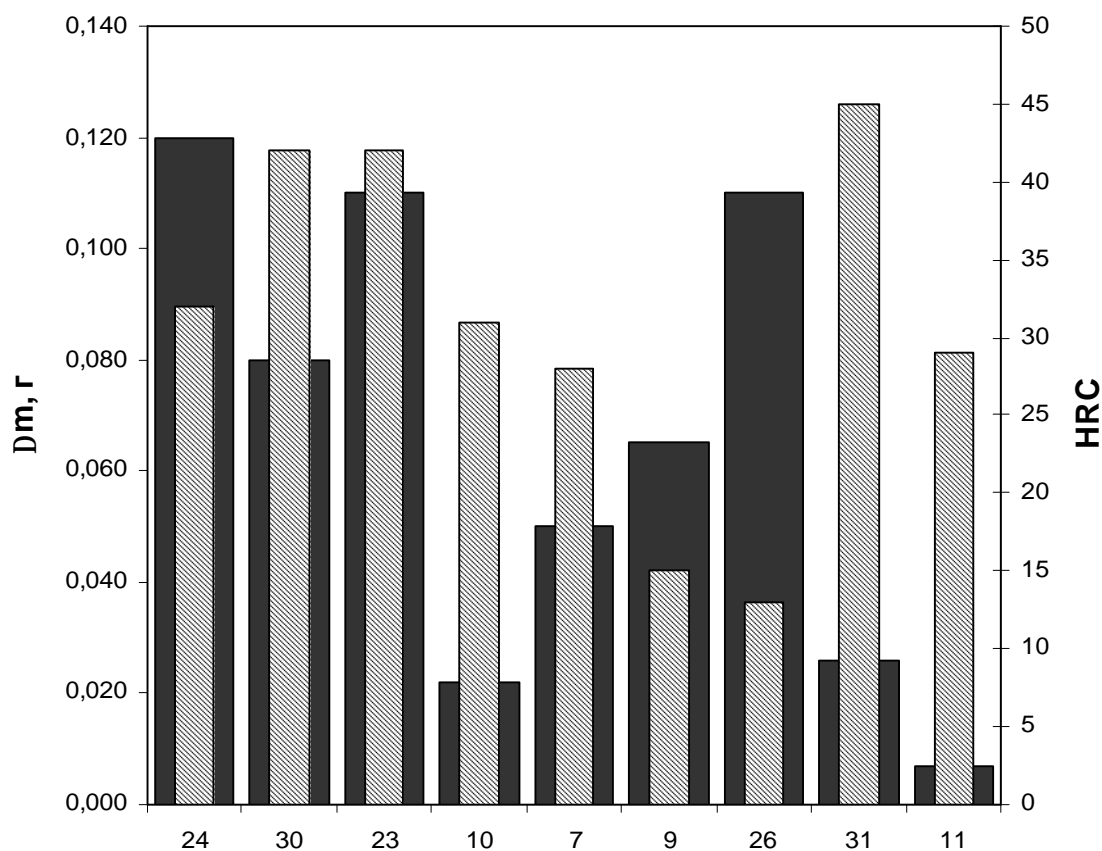


Рис. 1. Результаты испытаний наплавленных и напыленных композиций:

■ – износ; ▨ – твердость; 24 – основа – троостит; 30 – мартенсит + бейнит; 23 – аустенит + сорбит закалки; 10 – аустенит + мелкоигольчатый мартенсит; 7 – хромомарганцевый аустенит; 9 – хромоникельмарганцевый аустенит; 26 – высокомарганцевый аустенит; 31 – порошок СНГН – 50 (NiCrBSi); 11 – порошок NiCr

Структуры мартенситного типа по твердости и износостойкости имеют более высокие показатели, чем высокоуглеродистая трооститная основа, однако, при наплавке такой композиции в валиках появляются трещины, что делает невозможным ее применение без предварительного подогрева.

При наплавке аустенитных композиций не наблюдается возникновение трещин в структуре металла валиков и околошовной зоне.

Таким образом, наибольший эффект повышения износостойкости наплавленного материала, по сравнению с высокоуглеродистой основой, наблюдается в композициях хромомарганцевого и хромоникельмарганцевого аустенита, а также аустенита с мелкоигльчатым мартенситом, что делает более предпочтительным их применение при восстановлении поверхностей изделий, работающих в условиях трения скольжения и действия нагрузок.

Полученные данные согласуются с результатами работы [4] по испытаниям аналогичного основного металла и материалов ферритного и аустенитного классов.

Результаты испытаний на износостойкость подтверждаются данными анализа фрактограмм поверхностей трения (рис. 2). Так, для метастабильного аустенита поверхность трения имеет однородный рельеф без следов выкрашивания и характерной бороздчатой структуры, образующейся в результате пластического оттеснения материала с поверхности трения частицами изнашивания.

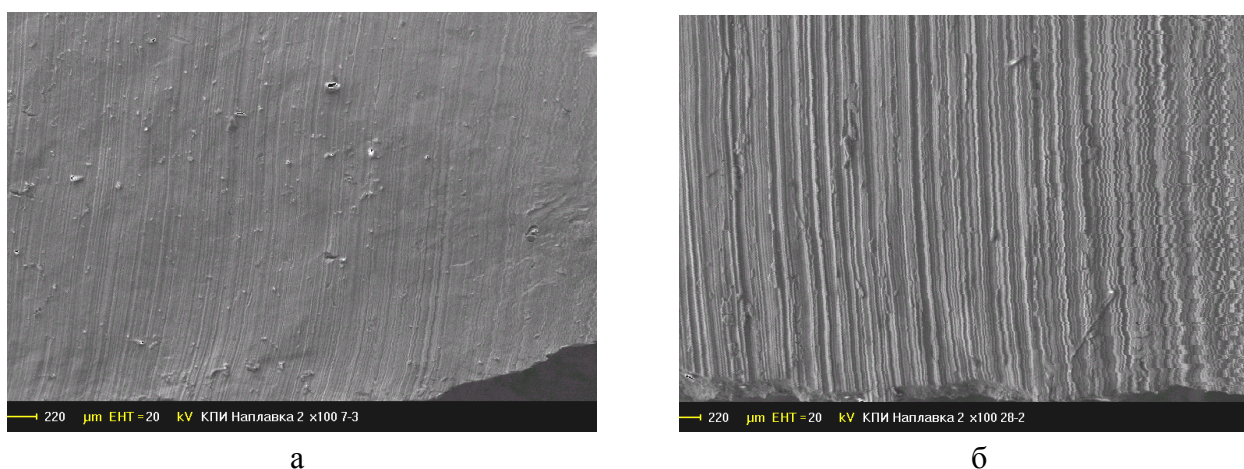


Рис. 2. Фрактограммы поверхностей трения,  $\times 100$ :

а – хромомарганцевый аустенит; б – сорбит закалки в аустенитной матрице

Характерным морфологическим признаком поверхности трения аустенитной матрицы с твердой составляющей является наличие бороздок, геометрические размеры которых варьируются в широких пределах, что свидетельствует о неоднородности структуры и, соответственно, сопротивлению изнашиванию структурных составляющих данных композиций наплавленного металла.

Результаты испытаний образцов с покрытиями показали, что, как и в случае с наплавкой, нет прямой, однозначной связи между твердостью и стойкостью к изнашиванию. Покрытие, имеющее меньшую твердость (исходный материал NiCr) демонстрирует меньшую потерю массы по сравнению с более твердым покрытием из оплавленного самофлюсующегося сплава (рис. 1).

Испытания на износ показали их достаточно высокую стойкость к изнашиванию, хотя характер износа двух видов материалов существенно отличался.

У образца с покрытием из нихрома наблюдалось достаточно быстрое изнашивание основного слоя покрытия и резкое снижение темпа износа на переходном слое между покрытием и основой. Интегральное значение изнашивания достаточно низкое и составляет порядка 0,007 г, при твердости материала покрытия (27...29 HRC).

Механизм повышения износостойкости пока не совсем ясен, но, согласно [5, 6] повышение стойкости к истиранию может быть результатом «аномального массопереноса» в переходной зоне между покрытием и основой при напылении сплавов на никелевой основе.

При этом возможно появление достаточно широкой переходной зоны, обогащенной компонентами покрытия и соединениями, образовавшимися при термической обработке покрытия, в том числе в результате взаимодействия с кислородом и азотом воздуха окружающей среды. Ширина переходной зоны при плазменном напылении составляет 100...150 мкм.

При последующем оплавлении плазменного покрытия глубина проникновения никеля и хрома возрастает до 0,5 мм.

Покрытие из самофлюсующихся сплавов после плазменного напыления состоит из пересыщенного хромоникелевого раствора, боридов никеля, боридов и карбидов хрома, а также, возможно, более сложных соединений типа карбоборидов.

Оплавление самофлюсующихся покрытий приводит к появлению новых фаз  $\text{CrB}$  и  $\text{Cr}_2\text{B}$  при относительно однородном распределении упрочняющих фаз по толщине слоя, а также частичному окислению бора и кремния в  $\text{B}_2\text{O}_3$  и  $\text{SiO}_2$ . Высокая прочность сцепления достигается за счет диффузионных процессов, происходящих в контактной зоне «покрытие-основа» [6].

Образец с напыленным и оплавленным самофлюсующимся материалом показал несколько худшие результаты по износостойкости. Но изнашивание происходило в пределах массы покрытия, без участия в процессе переходной зоны между покрытием и основой.

## ВЫВОДЫ

1. Показано, что метастабильные аустенитные композиции проявляют более высокую износостойкость, по сравнению с железуглеродистыми (в том числе мартенситными), что делает их применение более предпочтительным при восстановлении поверхностей изделий, работающих в условиях трения и действия нагрузок.

2. Газотермические покрытия на никелевой основе при достаточной прочности сцепления с поверхностью детали имеют высокую износостойкость при трении по металлу и могут быть также рекомендованы при восстановлении поверхностей изделий, работающих в этих условиях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Износостойкость сплавов, восстановление и упрочнение деталей машин / Под ред. В. С. Попова. – Издательский комплекс ОАО «Мотор Сич», Запорожье, 2006. – 420 с.
2. Документ 11-1303 (11E-221-96) Международного института сварки «Система классификации сплавов для упрочняющих наплавов».
3. Влияние погонной энергии на образование отколов в ЗТВ высокоуглеродистой стали М76 при наплавке аустенитными проволоками / В. К. Каленский, Я. П. Черняк, В. Г. Васильев, Т. Г. Соломийчук // Автоматическая сварка. – 2001. – № 11. – С. 11–14.
4. Черняк Я. П. Сравнительная оценка износостойкости электродных материалов, применяемых для восстановления трамвайных рельсов // Автоматическая сварка. – 2007. – № 12. – С. 41–43.
5. Спиридонов Н. В. Плазменные и лазерные методы упрочнения деталей машин / Н. В. Спиридонов, О. С. Кобяков, И. Л. Куприянов. – Минск : Выш. шк., 1988. – 155 с.
6. Гинзбург Е. Г. Некоторые особенности формирования контактной зоны при газотермической металлизации самофлюсующимися сплавами на основе никеля / Е. Г. Гинзбург, О. С. Кобяков, В. А. Рязанцев, Н. В. Спиридонов // Порошковая металлургия. – 1986. – № 10. – С. 47–50.