

ПОВЫШЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ НАПЛАВКИ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ

Проведено исследование по повышению физико-механических свойств низкоуглеродистых сталей с помощью наплавки износостойких покрытий, путем добавления в самофлюсующийся твердый сплав ПГ-10Н-01 различных добавок (карбида бора, карбида титана). Получен оптимальный состав добавок и их свойства.

Ключевые слова: самофлюсующий твердый сплав, карбид бора, карбид титана.

Для повышения износостойкости деталей машин, а также техники работающих в абразивной среде применяют различные методы упрочнения, одним из которых является наплавка самофлюсующимися твердыми сплавами. В данной работе проводились исследования по наплавлению самофлюсующегося твердого сплава ПГ-10Н-01. Химический состав и свойства сплава ПГ-10Н-01 представлен в таблице 1.

Наплавка образцов производилась на установке ТВЧ ВЧГ 2 – 100/0,066 в шелевом индукторе. В качестве исходного материала использовались образцы из стали 20. Наплавку осуществляли самофлюсующимся твердым сплавом ПГ-10Н-01 без добавок, а затем с добавками карбида бора B_4C и карбида титана TiC . Твердость определяли по методу Роквелла. Испытания на износ проводились в течение 10 мин при усилии 20 Н и частоте вращения круга $n = 250 \text{ мин}^{-1}$. Марка абразивного круга: А25ПСМ26К20ПГ352. После испытания образцы вновь взвешивались и измеряли диаметр круга.

Износ образцов определяли весовым методом по изменению массы образцов после испытания на износ. Путь L , мм, пройденный абразивным кругом рассчитывался по формуле

$$L = \pi \cdot D \cdot n \cdot t \quad (1)$$

где D – средний диаметр круга, мм;
 n – частота вращения круга, мин^{-1} ;
 t – время проведения испытания, мин.

Интенсивность изнашивания I_h рассчитывалась по формуле

$$I_h = \frac{\Delta m}{L} \quad (2)$$

где Δm – износ, г.

Для планирования эксперимента по оптимизации состава шихты для наплавки износос-

тойких покрытий использовали полнофакторный эксперимент с репликой 2^2 (таблица 2).

За основной уровень были приняты концентрации TiC и B_4C в количестве 1% с интервалом варьирования $\pm 1\%$. В качестве независимых переменных были выбраны: содержание в сплаве ПГ-10Н-01 карбида титана (X_1) и карбид бора (X_2). Зависимыми переменными являлись: твердость наплавленного слоя (Y_1), износ (Y_2) и интенсивность изнашивания (Y_3).

Матрица планирования эксперимента приведена в таблице 3. Результаты экспериментов приведены в таблице 4.

Анализ эксперимента показал, что изменение износостойкости связано с влиянием различных факторов. Для данного уровня знак «-» при независимой переменной X_1 показывает, что необходимо уменьшать концентрацию TiC , а знак «+» при парном взаимодействии карбида титана и карбида бора указывает на необходимость увеличения их концентрации, то есть имеет место противоречие.

Таблица 1. Химический состав и свойства сплава ПГ-10Н-01

| Основа | C | Cr | Fe | Si | B | Температура плавления, $T, ^\circ C$ | Твердость, HRC |
|--------|-----|------|-----|-----|-----|--------------------------------------|----------------|
| % | | | | | | | |
| Ni | 1,0 | 20,0 | 4,0 | 4,5 | 3,4 | 1000 | 55 |

Таблица 2. Матрица планирования 2^2

| | x_0 | x_1 | x_2 | x_3 |
|---|-------|-------|-------|-------|
| 1 | + | + | + | + |
| 2 | + | - | + | - |
| 3 | + | + | - | - |
| 4 | + | - | - | + |

Таблица 3. Матрица планирования

| Факторы | Карбид титана (TiC), % | Карбид бора (B ₄ C), % | Параметры оптимизации | | | | | |
|-------------------------------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------|--|------------------|---|---|
| | | | | | | Основной уровень | 1 | 1 |
| | | | | | | Шаг варьирования | 1 | 1 |
| Верхний уровень (+) | 2 | 2 | | | | | | |
| Нижний уровень (-) | 0 | 0 | Твердость, HRC | Износ, мг | Интенсивность изнашивания, I _{ср} | | | |
| Код | X1 | X2 | Y1 | Y2 | Y3 | | | |
| Опыт 1 | + | + | 56,9 | 8,68 | 6,09·10 ⁻³ | | | |
| Опыт 2 | - | + | 59,6 | 7,22 | 5,03·10 ⁻³ | | | |
| Опыт 3 | + | - | 58,6 | 7,79 | 5,43·10 ⁻³ | | | |
| Опыт 4 | - | - | 55,8 | 9,23 | 6,42·10 ⁻³ | | | |
| Основной уровень | 1 | 1 | 59,4 | 7,16 | 5,00·10 ⁻³ | | | |
| ПГ-10Н-01+1% В ₄ С | | | 59,8 | 6,90 | 4,79·10 ⁻³ | | | |
| ПГ-10Н-01+1% TiC | | | 58,7 | 7,82 | 5,46·10 ⁻³ | | | |

Таблица 4. Сводная таблица физико-механических свойств наплавленных покрытий

| Номер образца | Состав | Твердость, HRC | Износ, m, г | Средний диаметр абразивного круга D, мм | Путь трения, L, мм | Интенсивность изнашивания |
|---------------|---|------------------------------------|-------------|---|--------------------|---------------------------|
| 48 | ПГ-10Н-01+ +2% TiC+2% В ₄ С | 57,0 | 8,66 | 182,05 | 1429,82 | 6,06·10 ⁻³ |
| 91 | | 55,5 | 8,91 | 182,95 | 1436,89 | 6,20·10 ⁻³ |
| 26 | | 55,0 | 8,35 | 181,95 | 1429,03 | 5,84·10 ⁻³ |
| 95 | | 58,0 | 9,15 | 181,95 | 1428,25 | 6,41·10 ⁻³ |
| 64 | | 59,0 | 8,31 | 181,85 | 1401,00 | 5,93·10 ⁻³ |
| 36 | | ПГ-10Н-01+ +2% В ₄ С | 59,0 | 7,20 | 182,20 | 1432,96 |
| 94 | 63,0 | | 6,95 | 182,45 | 1432,17 | 4,85·10 ⁻³ |
| 70 | 61,0 | | 7,39 | 182,35 | 1438,46 | 5,14·10 ⁻³ |
| 97 | 57,0 | | 7,51 | 183,15 | 1426,68 | 5,26·10 ⁻³ |
| 99 | 58,0 | | 7,03 | 181,65 | 1439,63 | 4,88·10 ⁻³ |
| 112 | ПГ-10Н-01+ +2% TiC | 57,0 | 7,95 | 183,30 | 1436,10 | 5,54·10 ⁻³ |
| 19 | | 61,0 | 7,52 | 182,85 | 1438,06 | 5,23·10 ⁻³ |
| 103 | | 55,0 | 7,63 | 183,10 | 1430,99 | 5,33·10 ⁻³ |
| 89 | | 59,0 | 8,01 | 182,20 | 1430,60 | 5,60·10 ⁻³ |
| 62 | | 61,0 | 7,83 | 182,15 | 1433,74 | 5,46·10 ⁻³ |
| 67 | ПГ-10Н-01 | 55,5 | 9,86 | 182,55 | 1433,35 | 6,88·10 ⁻³ |
| 57 | | 58,0 | 9,02 | 182,50 | 1431,39 | 6,30·10 ⁻³ |
| 101 | | 55,5 | 8,65 | 182,25 | 1439,63 | 6,01·10 ⁻³ |
| 21 | | 55,0 | 9,50 | 183,30 | 1440,03 | 6,60·10 ⁻³ |
| 87 | | 55,0 | 9,10 | 183,35 | 1441,21 | 6,31·10 ⁻³ |
| 73 | ПГ-10Н-01+ +1% TiC+1% В ₄ С | 57,0 | 7,10 | 183,50 | 1432,57 | 4,96·10 ⁻³ |
| 72 | | 55,0 | 6,80 | 182,40 | 1435,71 | 4,74·10 ⁻³ |
| 44 | | 63,0 | 7,33 | 182,80 | 1427,07 | 5,14·10 ⁻³ |
| 51 | | 61,0 | 7,25 | 181,70 | 1436,49 | 5,05·10 ⁻³ |
| 59 | | 61,0 | 7,34 | 182,90 | 1435,71 | 5,11·10 ⁻³ |
| 24 | ПГ-10Н-01+ +1% В ₄ С | 61,0 | 6,95 | 183,45 | 1440,81 | 4,82·10 ⁻³ |
| 38 | | 54,0 | 6,76 | 183,40 | 1440,42 | 4,69·10 ⁻³ |
| 22 | | 58,0 | 7,20 | 182,65 | 1434,53 | 5,02·10 ⁻³ |
| 35 | | 63,0 | 7,09 | 183,25 | 1439,24 | 4,93·10 ⁻³ |
| 54 | | 63,0 | 6,50 | 183,50 | 1441,21 | 4,51·10 ⁻³ |
| 46 | ПГ-10Н-01+ +1% TiC | 55,5 | 7,90 | 183,05 | 1437,67 | 5,50·10 ⁻³ |
| 108 | | 61,0 | 8,50 | 182,00 | 1429,42 | 5,95·10 ⁻³ |
| 77 | | 59,0 | 7,29 | 182,75 | 1435,32 | 5,08·10 ⁻³ |
| 68 | | 55,0 | 7,63 | 182,10 | 1430,21 | 5,33·10 ⁻³ |
| 85 | | 63,0 | 7,79 | 181,75 | 1427,46 | 5,46·10 ⁻³ |

$$y = 8,23 - 0,28 \cdot x_2 + 0,725 \cdot x_1 \cdot x_2 \quad (3)$$

Определим с помощью уравнения (3) расчетные значения отклика $y_1 = 8,675$; $y_2 = 7,225$; $y_3 = 7,785$; $y_4 = 9,235$.

Полученные таким образом значения износа приведены в таблице 5.

Влияние добавок карбида бора B_4C и карбида титана TiC на механические свойства представлены на рисунке 1. Наибольшая твердость наблюдается при добавлении в самофлюсующийся твердый сплав ПГ-10Н-01 карбида титана в количестве 1 % (59,8 HRC), одновременно с этой же концентрацией наблюдается наименьший износ (6,9 мг).

Дальнейшее исследование было проведено при концентрации карбида бора от 1 до 5 %. Результаты физико-механических свойств наплавленных покрытий (ПГ-10Н-01) с добавками карбида бора и стекла представлены в таблице 6.

Влияние карбида бора на механические свойства самофлюсующегося твердого сплава ПГ-10Н-01 представлено на рисунке 2.

Анализ полученных результатов показывает, что твердость и износостойкость имеет хорошие значения при добавлении в самофлюсующийся твердый сплав ПГ-10Н-01 карбида бора в количестве от 1 до 3 %. Дальнейшее увеличение содержания карбида бора приводит к пористости и как следствие к снижению твердости и резкому повышению износа.

Так же было исследовано влияние добавки в самофлюсующийся твердый сплав ПГ-10Н-01 стекла в количестве от 3 до 13 %. Полученные результаты представлены на рисунке 3.

Из рисунка 3 видно, что высокая твердость наплавки не всегда соответствует ее высокой износостойкости. Так, например, при добавлении в самофлюсующийся твердый сплав ПГ-10Н-01 10 % стекла твердость наплавки составляет 54 HRC, а износ – 9,81 мг. В тоже время при добавлении стекла в количестве 3 % твердость составляет 56 HRC, а износ – 10,20 мг. При добавлении стекла в количестве 7 и 13 % износ примерно соответствует твердости.

Проведенная экспериментальная работа позволила определить эффективность

Таблица 5. Сопоставление экспериментальных и расчетных данных

| Номер опыта | $y_{i \text{ экп}}$ | $y_{i \text{ расч}}$ | $ \Delta y $ | Δy^2 |
|-------------|---------------------|----------------------|--------------|--------------|
| 1 | 8,68 | 8,675 | 0,005 | 0,000025 |
| 2 | 7,22 | 7,225 | 0,005 | 0,000025 |
| 3 | 7,79 | 7,785 | 0,005 | 0,000025 |
| 4 | 9,23 | 9,235 | 0,005 | 0,000025 |
| Сумма | | | | 0,000100 |

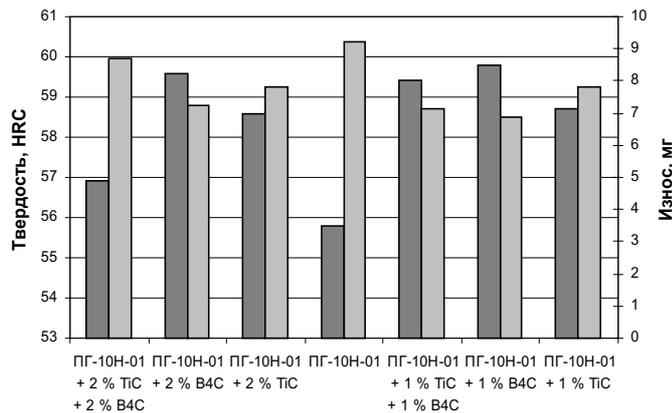


Рисунок 1. Влияние добавок карбида бора B_4C и карбида титана TiC на механические свойства самофлюсующегося твердого сплава ПГ-10Н-01

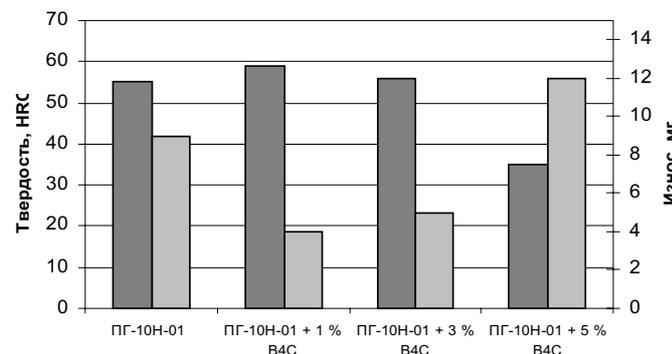


Рисунок 2. Влияние карбида бора B_4C на механические свойства самофлюсующегося твердого сплава ПГ-10Н-01

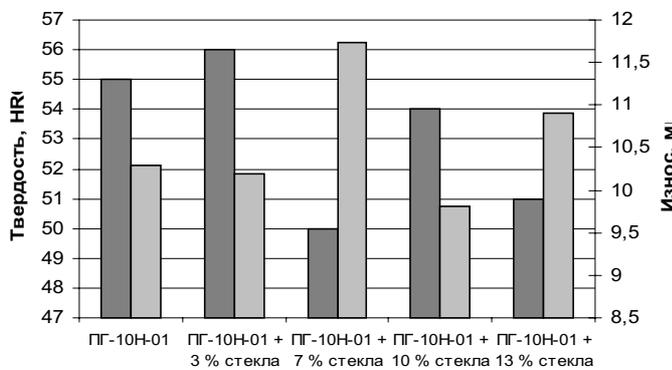


Рисунок 3. Влияние карбида титана TiC на механические свойства самофлюсующегося твердого сплава ПГ-10Н-01

Таблица 6. Физико-механические свойства наплавленных покрытий (ПГ-10Н-01) с добавками карбида бора и стекла

| Номер образца | Состав шихты | Твердость, HRC | Износ, Δt , г | Диаметр абразивного круга, D, мм | Путь трения, L, мм | Интенсивность изнашивания |
|---------------|-------------------------------|----------------|-----------------------|----------------------------------|--------------------|---------------------------|
| 242 | ПГ-10Н-01+1% В ₄ С | 59,5 | 4,75 | 188,75 | 1481,69 | $3,2 \cdot 10^{-3}$ |
| 243 | ПГ-10Н-01+1% В ₄ С | 52,8 | 4,25 | 188,70 | 1481,30 | $2,9 \cdot 10^{-3}$ |
| 246 | ПГ-10Н-01+1% В ₄ С | 63,4 | 4,05 | 188,65 | 1480,90 | $2,7 \cdot 10^{-3}$ |
| 250 | ПГ-10Н-01+3% В ₄ С | 50,8 | 4,95 | 188,60 | 1480,51 | $3,3 \cdot 10^{-3}$ |
| 251 | ПГ-10Н-01+3% В ₄ С | 60,5 | 5,70 | 188,60 | 1480,51 | $3,9 \cdot 10^{-3}$ |
| 252 | ПГ-10Н-01+3% В ₄ С | 54,3 | 5,70 | 188,55 | 1480,12 | $3,9 \cdot 10^{-3}$ |
| 254 | ПГ-10Н-01+5% В ₄ С | 30,8 | 14,66 | 188,40 | 1478,94 | $9,9 \cdot 10^{-3}$ |
| 256 | ПГ-10Н-01+5% В ₄ С | 44,0 | 12,95 | 188,30 | 1478,16 | $8,8 \cdot 10^{-3}$ |
| 257 | ПГ-10Н-01+5% В ₄ С | 35,0 | 13,60 | 188,25 | 1477,76 | $9,2 \cdot 10^{-3}$ |
| 295 | ПГ-10Н-01+3% стекла | 57,5 | 10,35 | 185,10 | 1453,04 | $7,1 \cdot 10^{-3}$ |
| 293 | ПГ-10Н-01+3% стекла | 55,5 | 10,3 | 185,10 | 1453,04 | $7,1 \cdot 10^{-3}$ |
| 279 | ПГ-10Н-01+3% стекла | 55,0 | 9,95 | 185,05 | 1452,64 | $6,9 \cdot 10^{-3}$ |
| 287 | ПГ-10Н-01+7% стекла | 53,5 | 11,38 | 184,95 | 1451,86 | $7,8 \cdot 10^{-3}$ |
| 283 | ПГ-10Н-01+7% стекла | 59,0 | 11,75 | 184,90 | 1451,47 | $8,1 \cdot 10^{-3}$ |
| 301 | ПГ-10Н-01+7% стекла | 57,0 | 12,10 | 184,85 | 1451,07 | $8,3 \cdot 10^{-3}$ |
| 264 | ПГ-10Н-01+10% стекла | 53,5 | 9,03 | 184,80 | 1450,68 | $6,2 \cdot 10^{-3}$ |
| 269 | ПГ-10Н-01+10% стекла | 53,0 | 9,85 | 184,75 | 1450,29 | $6,8 \cdot 10^{-3}$ |
| 274 | ПГ-10Н-01+10% стекла | 59,0 | 10,05 | 184,65 | 1449,50 | $6,9 \cdot 10^{-3}$ |
| 268 | ПГ-10Н-01+13% стекла | 46,5 | 11,40 | 184,55 | 1448,72 | $7,9 \cdot 10^{-3}$ |
| 313 | ПГ-10Н-01+13% стекла | 57,5 | 9,3 | 184,50 | 1448,33 | $6,4 \cdot 10^{-3}$ |
| 289 | ПГ-10Н-01+13% стекла | 42,0 | 12,80 | 184,50 | 1448,33 | $8,8 \cdot 10^{-3}$ |

введения легированных компонентов в самофлюсующийся твердый сплав ПГ-10Н-01. Максимальные физико-механические свойства получены при добавке карбида бора. Введение же дру-

гих добавок (карбида титана) неоднозначно влияют на твердость испытываемого материала. При введении в сплав 3 % стекла получены лучшие результаты по твердости и износостойкости.

16.05.2011

Список литературы:

1. Панов В.С., Чувилин А.М. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий и из них. М.: МИСИС – 2001. 428 с.
2. Богодухов С.И., Гребенюк В.Ф., Проскурин А.Д. Обработка упрочненных поверхностей в машиностроении и ремонтном производстве. М.: Машиностроение – 2005. 256 с.

Сведения об авторах:

Проскурин А.Д., профессор кафедры материаловедения и технологии материалов аэрокосмического института Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук, доцент
E-mail: matm@mail.osu.ru

Козик Е.С., доцент кафедры начертательной геометрии, инженерной и компьютерной графики архитектурно-строительного факультета Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук, доцент
E-mail: matm@mail.osu.ru

Щикочихина Л.Н., ведущий инженер кафедры материаловедения и технологии материалов аэрокосмического института Оренбургского государственного университета
E-mail: matm@mail.osu.ru

460018, г.Оренбург, пр.Победы 13, тел. (3532) 372511

UDC 621.791.92

Proskurin A.D., Kozik E.S., Schikochihina L.N.

Orenburg state university, e-mail: matm@mail.osu.ru

INCREASE OF PHYSICOMECHANICAL PROPERTIES OF IS LOW-CARBONACEOUS STEELS BY MEANS OF WELDING WEARPROOF COVERINGS

Research on increase of physico-mechanical properties low-carbonaceous steels with the help welding wear-proof coverings, by addition in itself a gumboil firm alloy PG-10H-01 of various additives (carbide of a pine forest, carbide of the titan) is conducted. The optimum structure of additives and their property is received. Key words: gumboilself a firm alloy, pine forest carbide, carbide of the titan.