

# МАШИНОБУДУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЯ МЕТАЛІВ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

MACHINE BUILDING  
PROCESS METALLURGY  
MATERIALS SCIENCE

УДК 621.785.539

С.Л. Евтифеев, канд. техн. наук, доц.,  
А.В. Овчаренко, бакалавр,  
Одес. нац. политехн. ун-т

## ПРИМЕНЕНИЕ БОРИДНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПАР ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ

*С.Л. Евтифеев, О.В. Овчаренко. Застосування боридних покриттів для збільшення зносостійкості пар тертя ковзання.* Описуються результати порівняльних випробувань борованої і загартованої Сталі 45 при терті ковзання. Варіюються параметри випробувань: швидкість тертя, питомий тиск, наявність і відсутність мастильного матеріалу. Показано значну перевагу борованої сталі в порівнянні з загартованою.

*Ключові слова:* борировання, сталь 45.

*С.Л. Евтифеев, А.В. Овчаренко. Применение боридных покрытий для увеличения износостойкости пар трения скольжения.* Описываются результаты сравнительных испытаний борированной и закаленной Сталь 45 при трении скольжения. Варьируются параметры испытаний: скорость трения, удельное давление, наличие и отсутствие смазочного материала. Показано значительное преимущество борированной стали по сравнению с закаленной.

*Ключевые слова:* борирование, сталь 45.

*S.L. Yevtifeyev, A.V. Ovcharenko. Applications of boride coatings to increase wear resistance wear of sliding friction pairs.* The results of comparison tests of boride and hardened steel 45 in sliding friction are described. The test parameters, namely friction speed, specific pressure presence or absence of the lubricant, are varied. A significant advantage of boride steel over hardened one is shown.

*Keywords:* boriding, steel 45.

Боридные покрытия на сталях обладают высокой твердостью независимо от способов их получения, режимов и марки стали. Микротвердость простых боридов железа Fe<sub>2</sub>B и FeB составляет Н<sub>ц</sub> 1300...1400 и Н<sub>ц</sub> 1600...1800, соответственно. При образовании сложных боридов на легированных сталях твердость боридных покрытий может возрасти до Н<sub>ц</sub> 2000...2200 [1]. Именно высокой твердостью и обусловлены рекомендации по применению процесса борирова-

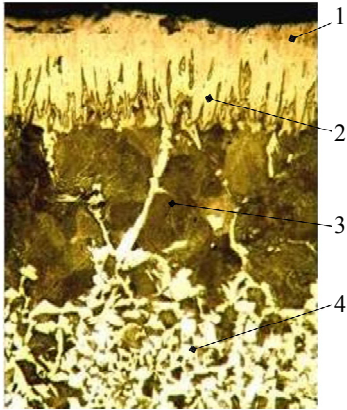


Рис. 1. Структура боридного слоя: 1 —  $FeB$ ; 2 —  $Fe_2B$ ; 3 — Перлит; 4 — Феррит+Перлит

ния для упрочнения деталей, а именно при абразивном изнашивании для деталей сельскохозяйственной техники.

В приведенном исследовании доказывалась возможность использования боридных покрытий в условиях трения скольжения, например на деталях “поршень — гильза” холодильных компрессоров, зубчатых передач с винтовым зубом и т.д. Теоретическим обоснованием возможности применения является тот факт, что при трении скольжения в условиях граничной смазки доминирующими видами изнашивания являются: механический износ в результате пластического деформирования и наклепа, окислительный износ в результате образования окислов на поверхности.

Классическая структура боридного слоя на стали 45 ГОСТ 1050-83 представлена на рис. 1.

Борирование проводилось в порошковой смеси 83 %  $B_4C$  и 16 %  $Na_2B_4O_7$  в контейнерах, герметизированных силикатной глыбой. Насыщению подвергались образцы из стали 45 в течение 6 ч при температуре 930 °С. Общая толщина покрытия составила 0,18 мм, толщина моноборида железа 0,04 мм. Структура диффузионного слоя соответствует структуре, приведенной на рис. 1. Насыщению подвергались стандартные образцы для машины трения СМЦ-2: ролик диаметром 50 мм, шириной 12 мм и колодка шириной 10 мм, по торцам колодки сделана фаска  $1 \times 45^\circ$  для затягивания смазки в зону трибосопряжения.

Режимы испытаний: для первого опыта  $v$  — 0,25 м/с,  $T$  — 1000 циклов (1 цикл — 100 оборотов ролика), при силе трения в 5, 10, 15 и 30 Н; для второго опыта  $v$  — 0,83 м/с,  $T$  — 1000 циклов, при силе трения в 5, 10, 15 и 30 Н. Смазка граничная капельным способом по ходу вращения ролика до колодки, 10...15 капель в мин. Смазка — масло “Индустриальное 20”. Для сравнения испытывались образцы стали 45 после закалки и низкого отпуска HRC 45...48.

Такие испытания являются более жесткими по сравнению с реальными условиями работы деталей машин по следующим причинам: 1) Теплоотвод, в реальных условиях, когда момент трения и размер детали большие, то температура на поверхности растет медленно, и смазочное вещество позволяет дополнительно отводить тепло в зоне трения. При испытании на машине трения СМЦ-2 этого не происходит. 2) Переходы с граничного состояния смазывания детали в сухое.

Определялся весовой износ по разнице весов до и после испытаний, измерения проводились на аналитических весах ВЛА — 200, а также суммарный износ пары трения скольжения по сумме потерь массы ролика и колодки. Измерялся момент трения с целью определения коэффициента трения пар. Результаты испытаний приведены в таблице.

На основе результатов испытания построены графики зависимости:

- потери массы в зависимости от прилагаемой нагрузки,
- отношения коэффициента трения в зависимости от прилагаемой нагрузки.

Из графиков на рисунках 2 и 3 видно, что одноименная пара из борированной стали значительно превосходит как по износостойкости, так и по коэффициенту трения одноименную пару из закаленной стали.

Поверхность трения после испытаний изучалась при помощи микроскопа МБС-1 с увеличением  $\times 4$ . Характерным признаком поверхности после борирования является более низкая шероховатость поверхности, отсутствие наклепа и диспергирования зоны трения скольжения, что характерно для молекулярно-механического изнашивания. На стали 45 явно выражены следы диспергирования и частичного наклепа поверхностного слоя (рис. 4). В ряде случаев, например, при скорости скольжения более 0,83 м/с, на поверхности борированной пары трения обнаружена стекловидная пленка неизвестного состава. Исследования поверхности трения после испытаний являются предметом дальнейшего исследования.

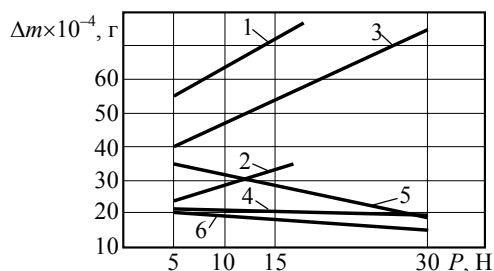


Рис. 2. Потери массы в зависимости от прилагаемой силы: закаленный ролик из стали 45,  $v = 0,25$  м/с (1), закаленная колодка из стали 45,  $v = 0,25$  м/с (2), борированный ролик,  $v = 0,25$  м/с (3), борированная колодка,  $v = 0,25$  м/с (4), борированный ролик,  $v = 0,83$  м/с (5), борированная колодка,  $v = 0,83$  м/с (6)

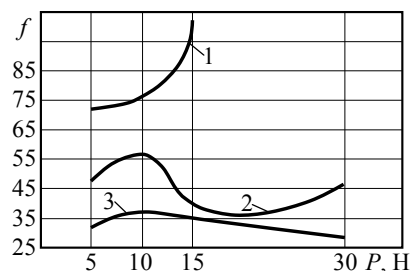


Рис. 3. Отношения коэффициента трения в зависимости от прилагаемой силы: пара трения закаленная сталь 45 по закаленной стали 45 при  $v = 0,25$  м/с (1), пара трения борированная сталь по борированной стали при  $v = 0,25$  м/с (2), пара трения борированная сталь по борированной стали при  $v = 0,83$  м/с (3)

Результаты испытаний на машине трений СМЦ-2

Пара трения	$v$	$m_{p1}$	$m_{p2}$	$m_{к1}$	$m_{к2}$	$\Delta m_p$	$\Delta m_k$	$P$	$f$	$M_{тр}$
Един. измер.	об/мин	г	г	г	г	г	г	Н		Н·см
Закаленная сталь 45 на закаленную сталь 45	300	163,049	162,994	15,9465	15,9225	0,055	0,024	5	0,72	9
		162,994	162,929	15,9225	15,8945	0,065	0,028	10	0,76	19
		162,929	162,857	15,8945	15,8615	0,072	0,072	15	1,01	38
		162,857		15,8615		Задир.		30	1,14	86
Борированная сталь 45 на борированную сталь 45	300	162,99	162,95	16,4893	16,4683	0,04	0,021	5	0,48	6
		162,95	162,895	16,4683	16,4483	0,055	0,02	10	0,56	14
		162,895	162,83	16,4483	16,4253	0,065	0,023	15	0,4	18
		162,83	162,755	16,4253	16,4063	0,075	0,019	30	0,47	75
	1000	162,755	162,72	16,4063	16,3863	0,035	0,02	5	0,32	4
		162,72	162,69	16,3863	16,3683	0,03	0,018	10	0,36	9
		162,69	162,666	16,3683	16,3513	0,024	0,017	15	0,36	13
		162,666	162,648	16,3513	16,3213	0,018	0,015	30	0,28	21

Изменение состава и агрегатного состояния смазочного материала для одноименных боридных пар трения скольжения также представляет интересное направление исследований. На-

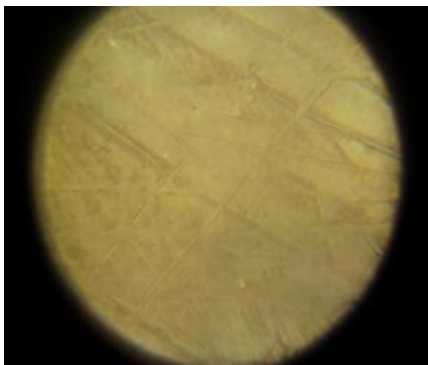


Рис. 4. Поверхность колодки из стали 45 после трения со следами наклепа, скорость 0,25 м/с

пример, применение масел, содержащих поверхностно активные вещества, может не только изменить коэффициент трения, но и предотвратить участие продуктов износа в парах трения за счет их растворения. Такие смазки получают путем добавления в масла литиевых мыл, например ЛИТА-3.

Наличие стекловидных пленок на поверхности трения после испытания показывает, что доминирующим механизмом изнашивания при трении пар борид по бориду является окислительный, а при трении закаленной стали по закаленной стали является износ диспергированием.

Учитывая изложенное, можно сделать вывод, что одноименные пары трения после борирования целесообразно применять при высоких, более 0,83 м/с, скоростях скольжения и незначительных удельных давлениях до 1...15 МПа, в условиях граничной смазки и безударных нагрузках. Трение

стальных образцов происходит в соответствии с механизмом молекулярно – механического изнашивания, приводящему к наклепу поверхности трения.

#### Литература

1. Ворошнин, Л.Г. Борирование стали / Л.Г. Ворошнин, Л.С. Ляхович. — М.: Металлургия, 1978. — 239 с.

#### References

1. Voroshnin, L.G. Borirovanie stali [Boriding steel] / L.G. Voroshnin, L.S. Lyakhovich. — Moscow, 1978. — 239 p.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-та Тонконогий В.М.

Поступила в редакцию 23 сентября 2013 г.