

УДК 621:629.3.027.514

**И. В. БОЯРКИНА
В. Н. ТАРАСОВ**Сибирский государственный
автомобильно-дорожный университет,
г. Омск

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И НОРМ СЛОЙНОСТИ ПНЕВМОШИН ДЛЯ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

В статье предложено определять грузоподъемность пневмошины как функцию обобщенного геометрического параметра DB , равного произведению наружного диаметра D и ширины профиля шины B . Норма слойности пневмошин четное число $n_c = 2, 4, 6, \dots$ является сложным параметром, который характеризует грузоподъемность, конструкцию шины, ее прочность, технологические особенности, давление воздуха в шине. Впервые получены зависимости грузоподъемности шины Q от обобщенного параметра DB для разных норм слойности пневмошин $n_c = 4, \dots, 12$ для диагональных и радиальных шин. Получены зависимости площади контакта пневмошины A_k от обобщенного геометрического параметра DB для разных норм слойности диагональных и радиальных пневматических шин.

Ключевые слова: каркас шины, площадь контакта, номинальная грузоподъемность.

Пневматические шины придают ходовым механизмам наземных транспортных средств важные достоинства. Пневмоколеса на пневматических шинах обеспечивают высокие скорости, большую грузонесущую способность, малую массу, высокую окупаемость, востребованность для использования.

Основными параметрами пневматических шин, согласно ГОСТ [1, 2], являются: n_c — норма слойности пневмошин; D — наружный диаметр шины; B — ширина профиля; H — высота профиля; d — посадочный диаметр, R_c — статический радиус; p_w — давление воздуха в шине, Q — вертикальная нагрузка на оси колеса; V — скорость движения и др. В указанном перечне параметров отсутствует, как правило, информация о площади контакта шины A_k с опорной поверхностью в статическом состоянии и прогиб шины λ .

Массовое применение получили две основные конструкции пневмошин: диагональные и радиальные (рис. 1).

На рис. 1а показана конструкция шины, каркас которой выполнен из диагональных слоев кордно-

го полотна, силовые нити которого перекрещиваются симметрично относительно продольной плоскости симметрии шины. На рис. 1б представлена радиальная шина типа R, каркас которой выполнен из радиальных (меридиональных) слоев, силовые нити которых расположены радиально, т.е. в плоскости, проходящей через ось вращения колеса. Особенность радиальной шины заключается в сочетании радиального малослойного каркаса шины с металлокордным брекером в протекторе, защищающем шину от дорожных препятствий и проколов.

Радиальные и диагональные шины интенсивно развиваются в настоящее время. Радиальные шины унаследовали все достоинства диагональных шин и имеют ряд конструктивных и технологических достоинств по сравнению с диагональными шинами.

Выбор основных параметров пневмошин для заданных условий эксплуатации с учетом прочности и долговечности шин является в настоящее время весьма сложной научной и технической задачей.

При проектировании шины необходимо определить площадь контакта шины с опорной поверхно-

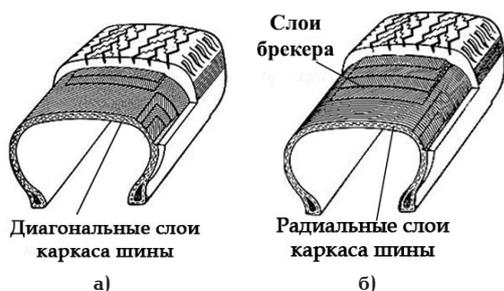


Рис. 1. Пневматические шины:
а) диагональная; б) радиальная

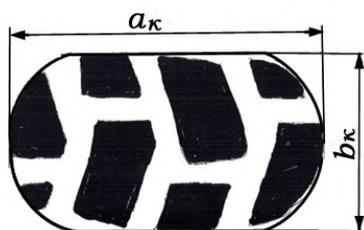


Рис. 2. Форма площади контакта шины на твердой поверхности

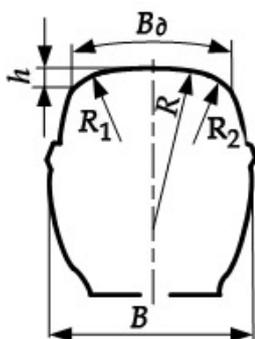


Рис. 3. Сечение беговой дорожки шины в свободном состоянии

стью и обосновать форму площади контакта шины. Именно от формы площади контакта зависит износ шины и ее долговечность.

В работах [3–5] принимают эллипсовидную форму площади контакта, при которой изнашивается интенсивно средняя часть ширины беговой дорожки.

По мере износа увеличивается ширина контакта b_k шины. Для постоянной нагрузки на шину при уменьшении ширины контакта происходит уменьшение длины контакта a_k , т.к. подъемная сила колеса по закону Паскаля сохраняется постоянной и соответствует определенной величине площади контакта. Однако такой упрощенный ход рассуждений не учитывает, что колесо технологической машины работает при переменных вертикальных нагрузках. В этом случае при вертикальных колебаниях шины эллипсовидная форма площади контакта имеет свои особенности, а именно, при изменении нагрузки одновременно изменяется ширина b_k и длина a_k площади контакта шины, т.е. определенному изменению величины вертикальной нагрузки ΔG соответствует меньшая величина прогиба шины Δl .

Анализ конструкций современных пневматических шин показал, что для номинальной грузоподъемности шины при номинальном давлении ширина площади контакта b_k задается практически равной ширине беговой дорожки шины. В этих случаях длина a_k площади контакта практически равна ширине $b_k = a_k$ или несколько больше ее, т.е. площадь контакта шины имеет форму овала (рис. 2).

Площадь контакта шины при больших прогибах представляет собой простой овал в виде сочетания прямоугольника с двумя полудисками. При $a_k = b_k$ имеем площадь контакта в виде круга.

Площадь контакта шины можно моделировать не эллипсом, а овалом, используя формулу, предложенную в работе [6]

$$A_x = (a_k - b_k) \cdot b_k + \frac{\pi b_k^2}{4}, \quad (1)$$

где a_k — длина овала; b_k — ширина овала.

Формула (1) справедлива при $a_k > b_k$. Если возникнет ситуация для широкопрофильных шин, когда $b_k > a_k$, то применяется формула

$$A_x = (b_k - a_k) \cdot a_k + \frac{\pi a_k^2}{4}. \quad (2)$$

В настоящее время конструкторы при проектировании шин регулируют начальную форму и величину площади контакта шины путем изменения профиля сечения беговой дорожки в свободном состоянии (рис. 3).

Ширина протектора B_0 обычно принимается в зависимости от ширины профиля шины по соотношению $B_0/B = 0,70 - 0,85$ [5]. С увеличением ширины беговой дорожки и площади уменьшается удельное давление на дорогу и повышается износостойкость шины, при этом повышается толщина протектора по краю беговой дорожки (см. рис. 3). Кривизна беговой дорожки принимается такой, чтобы стрела дуги h составляла 4–8 % от ширины профиля B . Для широкопрофильных шин рекомендуют профиль беговой дорожки очерчивать переменным радиусом. Применение переменного радиуса позволяет облегчить работу брекера и каркаса шины, снизить температуру в элементах шины [4].

Очевидно, что геометрия и форма свободной недеформируемой поверхности шины оказывает влияние на характер формирования площади отпечатка шины A_x на твердой опорной поверхности и на величину общего прогиба λ шины от вертикальной нагрузки. В настоящее время в технической литературе практически отсутствует информация по данной проблеме.

Общеизвестным является факт уменьшения прогиба шины с увеличением скорости движения машины [8–11]. В данной статье предлагается ввести новое понятие в теории пневмошины — теоретическую площадь контакта шины при заданной вертикальной нагрузке и давлении в шине, которая определяется по формуле статики

$$A_x = \frac{Q}{p_w}, \quad (3)$$

где A_x — площадь контакта шины при заданном давлении; Q — грузоподъемность по ГОСТ [1]; p_w — давление в шине.

Теоретическая площадь контакта A_x является важным параметром, так как позволяет определить подъемную силу колеса $p_w A_x$ [6, 7], которая

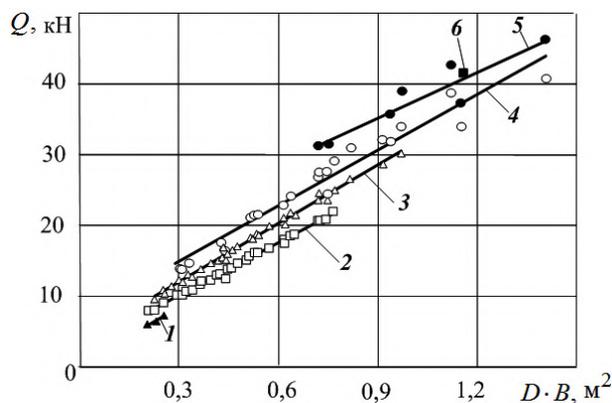


Рис. 4. Зависимость грузоподъемности Q диагональных шин от произведения DB :

- 1 — $n_c = 4$, уравнение регрессии $Q = 26,76DB + 0,4276$, коэффициент $R^2 = 0,9544$;
- 2 — $n_c = 6$, уравнение регрессии $Q = 24,742DB + 2,7556$, коэффициент $R^2 = 0,9926$;
- 3 — $n_c = 8$, уравнение регрессии $Q = 27,721DB + 3,7514$, коэффициент $R^2 = 0,9913$;
- 4 — $n_c = 10$, уравнение регрессии $Q = 26,221DB + 6,9989$, коэффициент $R^2 = 0,9508$;
- 5 — $n_c = 12$, уравнение регрессии $Q = 21,722DB + 15,7$, коэффициент $R^2 = 0,8506$;
- 6 — $n_c = 14$, шина 28L-26

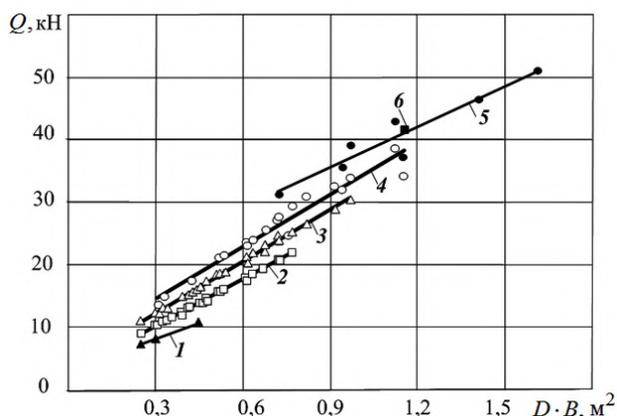


Рис. 5. Зависимость грузоподъемности Q радиальных шин от произведения DB :

- 1 — $n_c = 4$, уравнение регрессии $Q = 17,863DB + 2,8242$, коэффициент $R^2 = 0,9942$;
- 2 — $n_c = 6$, уравнение регрессии $Q = 25,054DB + 2,7158$, коэффициент $R^2 = 0,9926$;
- 3 — $n_c = 8$, уравнение регрессии $Q = 27,611DB + 3,734$, коэффициент $R^2 = 0,994$;
- 4 — $n_c = 10$, уравнение регрессии $Q = 27,432DB + 6,5221$, коэффициент $R^2 = 0,9478$;
- 5 — $n_c = 12$, уравнение регрессии $Q = 21,371DB + 16,257$, коэффициент $R^2 = 0,8962$;
- 6 — $n_c = 14$, шина 28.1R26

в статике и при малой скорости движения практически совпадает с грузоподъемностью пневмоколеса.

Получены результаты исследования грузоподъемности Q для диагональных (рис. 4) и радиальных (рис. 5) пневмошин по данным ГОСТ [2] от обобщенного параметра DB , представляющего собой произведение наружного диаметра шины D и ширины профиля B . Прямые линии на графиках соответствуют определенной норме слоистости пневмошины, которая изменяется в пределах $n_c = 4-12$.

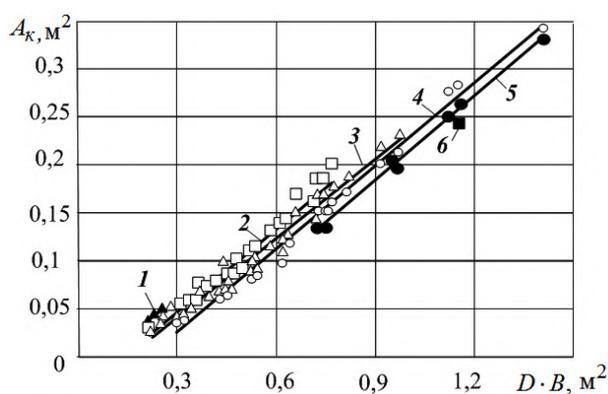


Рис. 6. Зависимость площади контакта A_k диагональных шин от произведения DB :

- 1 — $n_c = 4$, уравнение регрессии $A_k = 0,3096DB - 0,026$, коэффициент $R^2 = 0,9807$;
- 2 — $n_c = 6$, уравнение регрессии $A_k = 0,2921DB - 0,0404$, коэффициент $R^2 = 0,9469$;
- 3 — $n_c = 8$, уравнение регрессии $A_k = 0,27DB - 0,0363$, коэффициент $R^2 = 0,9652$;
- 4 — $n_c = 10$, уравнение регрессии $A_k = 0,2862DB - 0,0587$, коэффициент $R^2 = 0,9874$;
- 5 — $n_c = 12$, уравнение регрессии $A_k = 0,2922DB - 0,0774$, коэффициент $R^2 = 0,99$;
- 6 — $n_c = 14$, шина 28L-26

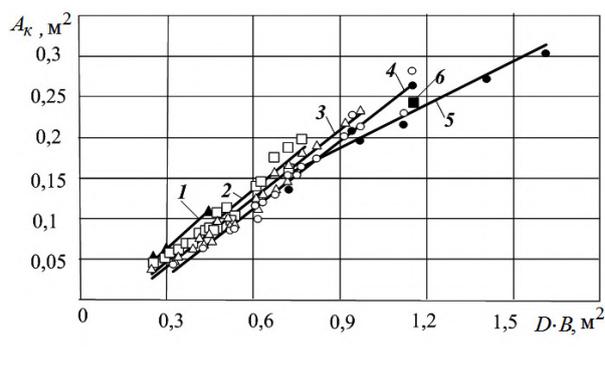


Рис. 7. Зависимость площади контакта A_k радиальных шин от произведения DB :

- 1 — $n_c = 4$, уравнение регрессии $A_k = 0,2969DB - 0,0258$, коэффициент $R^2 = 0,9833$;
- 2 — $n_c = 6$, уравнение регрессии $A_k = 0,3017DB - 0,0448$, коэффициент $R^2 = 0,9498$;
- 3 — $n_c = 8$, уравнение регрессии $A_k = 0,2824DB - 0,0448$, коэффициент $R^2 = 0,9767$;
- 4 — $n_c = 10$, уравнение регрессии $A_k = 0,2741DB - 0,0522$, коэффициент $R^2 = 0,9702$;
- 5 — $n_c = 12$, уравнение регрессии $A_k = 0,1751DB + 0,0291$, коэффициент $R^2 = 0,8911$;
- 6 — $n_c = 14$, шина 28.1R26

Для каждой зависимости под рисунками приведены уравнения регрессии грузоподъемности Q от произведения DB : $Q = f(DB)$.

Впервые в теории пневмошины предложено при определении грузоподъемности шины Q определять геометрические размеры колеса в виде произведения наружного диаметра D и ширины профиля B . Такие зависимости (см. рис. 4, 5) показывают, что для шины с заданной нормой слоистости для увеличения грузоподъемности Q необходимо увеличивать произведение величин D и B . Однако

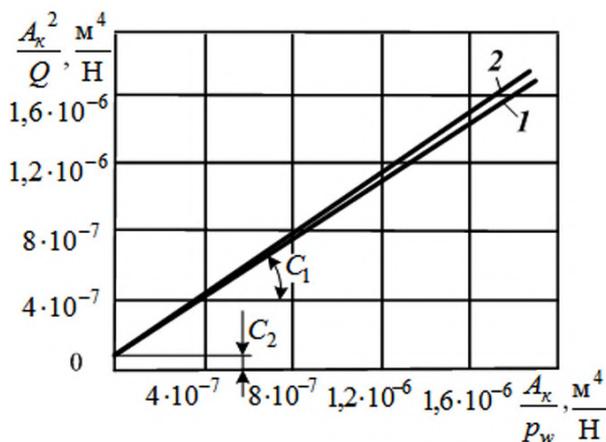


Рис. 8. Универсальная характеристика площади контакта для диагональных пневмошин: 1 — $n_c = 6$; 2 — $n_c = 8$

при увеличении нормы слоистости появляется возможность создавать пневмошины с меньшим произведением DB , т.е. с меньшими геометрическими размерами.

Получены зависимости площади контакта шины A_k от произведения DB : для диагональных шин (рис. 6) и для радиальных шин (рис. 7), которые являются линейными функциями $A_k = f(DB)$. Для разных норм слоистости n_c под каждым рисунком показаны уравнения регрессии для шин [2].

Для установления связи теоретической площади контакта шины A_k с грузоподъемностью Q и давлением воздуха в шине p_w использовалась разработанная авторами статьи универсальная характеристика площади контакта шины [11], которая устанавливает линейную связь обобщенных параметров A_k^2/Q от A_k/p_w .

На рис. 8 представлены обобщенные характеристики площади контакта пневмошины, в которых площадь контакта вычислялась для каждой шины по формулам (1), (2) путем определения для каждой шины длины контакта a_k и ширины контакта b_k .

Установлена связь площади контакта A_k с грузоподъемностью Q и давлением p_w для норм слоистости $n_c = 6$ и $n_c = 8$.

Зависимости, представленные на рис. 8, описываются уравнениями регрессии первого порядка

$$\frac{A_k^2}{Q} = C_1 \frac{A_k}{p_w} + C_2. \quad (4)$$

Уравнение второй степени для площади контакта шины имеет вид

$$A_k^2 - C_1 \frac{QA_k}{p_w} - C_2 Q = 0. \quad (5)$$

При норме слоистости $n_c = 6$ коэффициенты C_1 , C_2 имеют значения: $C_1 = 0,8899618$; $C_2 = 6,34223 \cdot 10^{-8}$. При норме слоистости $n_c = 8$ значения коэффициентов: $C_1 = 0,8943861$; $C_2 = 7,47007 \cdot 10^{-8}$.

Зависимости на рис. 8 являются эмпирическими, однако это случай, когда эмпирические закономерности отражают физическую сущность процесса формирования грузоподъемности шины по физическому закону Паскаля.

Если в уравнении (5) пренебречь третьим слагаемым $C_2 Q$, то получим уравнение действительной площади контакта

$$A_k^0 = C_1 \frac{Q}{p_w} = C_1 A_k. \quad (6)$$

В уравнении (6) величина Q/p_w является теоретической площадью контакта. Таким образом коэффициент C_1 устанавливает связь между теоретической A_k и действительной A_k^0 площадями контакта шины по формуле (6).

Полученные выражения позволяют установить величину вертикальной нагрузки, воспринимаемой каркасом шины

$$\Delta Q = (A_k - A_k^0) p_w. \quad (7)$$

где ΔQ — нагрузка, воспринимаемая каркасом шины.

Исследуя значения коэффициентов: $C_1 = 0,8899618$ для $n_c = 6$; $C_1 = 0,8943861$ для $n_c = 8$, можно сделать вывод о том, что воздух в шине по закону Паскаля воспринимает основную вертикальную нагрузку. При этом недостающую долю нагрузки до единицы от вертикальной нагрузки воспринимает каркас шины.

Доля вертикальной нагрузки, воспринимаемой каркасом, равна $\Delta Q = (0,11 - 0,106)Q$, соответственно, для $n_c = 6$ и $n_c = 8$.

Выводы. Грузоподъемность Q пневмошины можно определять для каждой нормы слоистости n_c как функцию обобщенного геометрического параметра DB . Для пневмошин предложено определять теоретическую площадь контакта шины A_k на твердой поверхности. Предложена методика определения действительной площади контакта при помощи универсальной характеристики площади пневмошины $A_k^0 = C_1 A_k$. Площадь контакта пневмошины зависит от геометрических параметров шин D , B и слоистости n_c каркаса шины.

Библиографический список

- ГОСТ 8430-2003. Шины пневматические для строительных, дорожных, подъемно-транспортных и рудничных машин. Введ. 2005-01-01. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004. 20 с.
- ГОСТ 25641-84. Шины пневматические для тракторов и сельскохозяйственных машин. Введ. 1984-03-30. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1985. 39 с.
- Бухин Б. А. Введение в механику пневматических шин. М.: Химия, 1988. 224 с.
- Кнороз В. И. [и др.]. Работа автомобильной шины. М.: Транспорт, 1976. 238 с.
- Бидерман В. А. [и др.]. Автомобильные шины (конструкция, расчет, испытания, эксплуатация) / под ред. В. А. Бидермана. М.: Госхимиздат, 1963. 384 с.
- Тарасов В. Н., Бояркина И. В., Дегтярь В. В. Метод расчета грузоподъемности пневмоколеса и прочности каркаса автошины транспортного средства // Строительные и дорожные машины. 2015. № 5. С. 47-52.
- Бояркина И. В. Технологическая механика однокосовых фронтальных погрузчиков: моногр. Омск: Изд-во СибАДИ, 2011. 336 с.
- Тарасов В. Н. Теоретический радиус качения эластичного колеса // Автомобильная промышленность. 1965. № 1. С. 5-6.
- Тарасов В. Н. Грузоподъемность шины с жидким балластом // Тракторы и сельхозмашины. 1965. № 8. С. 10-12.
- Белкин А. Е., Уляшкин А. В. Расчет деформаций в беговой части радиальной шины с учетом межслойных сдвигов в брекере // Известия вузов. Машиностроение. 1990. № 1. С. 86-90.

11. Тарасов В. Н., Бояркина И. В., Дегтярь В. В. Универсальные характеристики пневмоколес строительных и дорожных машин // Строительные и дорожные машины. 2015. № 12. С. 50–53.

БОЯРКИНА Ирина Владимировна, доктор технических наук, профессор кафедры «Механика». Адрес для переписки: iriboyarkina@yandex.ru

ТАРАСОВ Владимир Никитич, доктор технических наук, профессор (Россия), профессор кафедры «Механика».

Адрес для переписки: tarasov_vladimir07@mail.ru

Статья поступила в редакцию 01.06.2017 г.

© И. В. Бояркина, В. Н. Тарасов

УДК 62-1

Ю. И. МАТЯШ
Ю. М. СОСНОВСКИЙ
А. А. РАЖКОВСКИЙ
Е. М. КОНДРИКОВ

Омский государственный
университет путей сообщения,
г. Омск

ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТАЛЬНЫХ УЗЛОВ И ДЕТАЛЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА КАК МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА

Рассмотрены термодинамические процессы, происходящие в металлических сплавах при их охлаждении от температуры плавления до нормальной температуры окружающей среды. Показано, что наиболее приемлемый метод прогнозирования остаточного ресурса деталей железнодорожного подвижного состава должен базироваться на использовании полуэмпирических расчетных зависимостей, связывающих изменение энергетических параметров металлических изделий с изменением их структурной рыхлости. Обосновано наличие точки перегиба на зависимости изменения прочностных свойств металла от структурной рыхлости.

Ключевые слова: конструирование технических деталей, остаточный ресурс, структурная рыхлость, энергетический барьер, термодинамические процессы.

Поведение металлических изделий железнодорожного транспорта, которые работают, как правило, в режиме циклических нагружений, изучались с различных точек зрения, в том числе и на основе энергетических представлений. Используя современные средства неразрушающего контроля, например, в работе [1] было показано, что разрушение твердых тел — это процесс, развивающийся во времени, состоящий из последовательных элементарных флуктуаций разрыва межатомных связей, которые совершаются за счет теплового движения атомов. Согласно этой теории, процесс разрушения на начальной стадии следует рассматривать как процесс, в котором вследствие тепловых флуктуаций преодолевается энергетический барьер U_0 , величина которого может быть уменьшена в результате действия внешних напряжений σ :

$$\tau = \tau_0 \exp\left(\frac{U_0 - \gamma\sigma}{kT}\right), \quad (1)$$

здесь τ — время между двумя последовательными флуктуациями, τ_0 — период собственных тепловых колебаний атома, γ — структурный фактор, k — постоянная Больцмана, T — абсолютная температура, σ — внешнее напряжение. Как видно из приведенной формулы (1), наличие внешней нагрузки σ и повышение температуры T приводит к уменьшению времени между двумя последовательными флуктуационными переходами.

Известно, что все тела состоят из частиц: атомов, молекул и ионов, которые находятся в непрерывном хаотичном движении. В результате термодиффузионных процессов происходит самопроизвольное выравнивание концентраций всех включений по всему занимаемому объему. В соответствии с кинетической теорией жидкостей атомы веществ в результате термодиффузионных процессов располагаются друг относительно друга на определенных расстояниях, которые определяются величинами

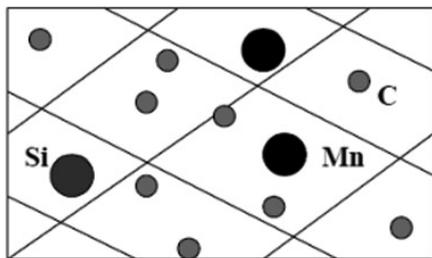


Рис. 1. Твердый раствор, включающий Si и Mn в феррите

межатомных взаимодействий (сил отталкивания) и температурным уровнем проводимого процесса. Основными механизмами перемещения атомов по кристаллу могут быть: прямой обмен атомов местами, миграция по дислокациям, дефектам упаковки, границам зерен и др. Явление диффузии в большинстве практических случаев описывается первым законом Фика для изотропных сред или вторым законом Фика для анизотропных сред [2].

В настоящее время материалы, на основе которых создаются современные технические средства или технологические процессы, используются в различных отраслях техники (например, металлические сплавы, применяемые в радиоэлектронике, самолетостроении, или катализаторы и сорбенты — в химической и нефтеперерабатывающей промышленности и др.). Эти материалы формируются таким образом, чтобы наиболее полно отвечать условиям их эксплуатации [3, 4]. Так, например, при создании металлических соединений, обладающих повышенной механической прочностью, используют компоненты, проявляющие свойства внедрения атомов (или ионов) легирующего компонента в структуру исходного металла, что приводит к созданию более упорядоченной структуры сплава и обеспечивает достижение требуемых прочностных характеристик. В качестве примера на рис. 1 схематично приведен твердый раствор, включающий Si и Mn в феррите.

В других случаях, например, для получения сплава с повышенной пластичностью используют компоненты, проявляющие свойства замещения. В нефтехимической промышленности при формировании сорбентов, с наперед заданными сорбционными свойствами, обычно используют различные соотношения между катионами и анионами. Так, например, для создания цеолита с минимальным входным окном (около 4\AA) в качестве катиона используют Na^+ , а в качестве аниона — Al_2O_3^- . В то же время для получения цеолита с максимальным входным окном (около 13\AA) в качестве катиона используют Ca^+ . При создании катализаторов нового поколения с определенными физико-химическими свойствами в последнее время используют бинарные полупроводниковые системы типа CdTe и ZnS или твердые растворы, полученные на их основе.

Несмотря на разнообразие подходов к формированию вышеперечисленных материалов, все они объединяются одной и той же целью — подобрать такую совокупность компонентов, характеризующихся определенным набором межатомных связей, сочетание которых обеспечивало бы получение необходимых свойств материалов (физических, механических, химических, сорбционных и т. п.). При этом следует отметить одну особенность вышеприведенных сложных материалов (в том числе

и металлических сплавов) — все они представляют собой многофазную термодинамическую систему, с четко выраженными границами раздела, а легирующие компоненты, входящие, например, в состав металлического сплава, играют роль примесей.

Рассмотрим термодинамические процессы, происходящие в металлических сплавах при их охлаждении от температуры плавления до нормальной температуры окружающей среды (плюс 20°C). Например, при нагревании стали до температуры плавления (в зависимости от ее химического состава температура плавления может изменяться от 1300°C до 1500°C) атомы ее компонентов в результате термодиффузионных процессов располагаются на определенном расстоянии и находятся в устойчивом термодинамическом равновесии. По мере охлаждения стали (до температуры окружающей среды — плюс 20°C) атомы ее компонентов будут находиться в крайне неустойчивом термодинамическом равновесии, поскольку они сохраняют свое пространственное положение, соответствующее температуре плавления. При этом силы отталкивания, обеспечивающие устойчивое термодинамическое равновесие между атомами при температуре плавления сплава (1500°C), изменятся на силы притяжения, возникшие в результате охлаждения стали. Вследствие этого атомы охлажденного металлического сплава будут стремиться перейти к новому устойчивому термодинамическому равновесию, соответствующему конечному значению температурного процесса. Это можно наблюдать также и по изменению удельного объема охлаждаемого металла, который в этом диапазоне изменения температур составляет более 35 %.

Основная схема перехода термодинамической системы к различным устойчивым термодинамическим равновесиям представлена на рис. 2, в предположении, что в составе стали содержатся легирующие компоненты, которые выступают в роли примесей. В результате термодиффузионных процессов вокруг примесей, играющих в стали роль концентраторов напряжений, образуются микропоры (рис. 2a и рис. 2b), которые в дальнейшем увеличиваются и переходят в макропоры (рис. 2c), с последующим их слиянием (рис. 2d и рис. 2e) и образованием шейки в перемычках (рис. 2f). Завершающие этапы старения стали сопровождаются микропластической деформацией с последующим ее разрушением [5].

В связи с большим градиентом температур (от температуры плавления стали до температуры окружающей среды) возникают огромные силы притяжения между атомами, что в значительной мере способствует ускорению процесса старения стали, который сопровождается потерей прочностных свойств. Поэтому, при конструировании технических средств, следует учитывать тот факт, что металлические сплавы, хранящиеся на складах в течение длительного времени, в значительной степени подвергаются вязкому разрушению в результате термодиффузионных процессов.

Учитывая самопроизвольное старение сталей в тяжелом машиностроении, при изготовлении изделий, работающих в тяжелых условиях (повышенные механические или тепловые нагрузки, в том числе и агрессивные среды), с целью повышения их прочностных свойств и замедления процессов старения дополнительно используют различные технологические приемы (такие как горячий прокат и др.).

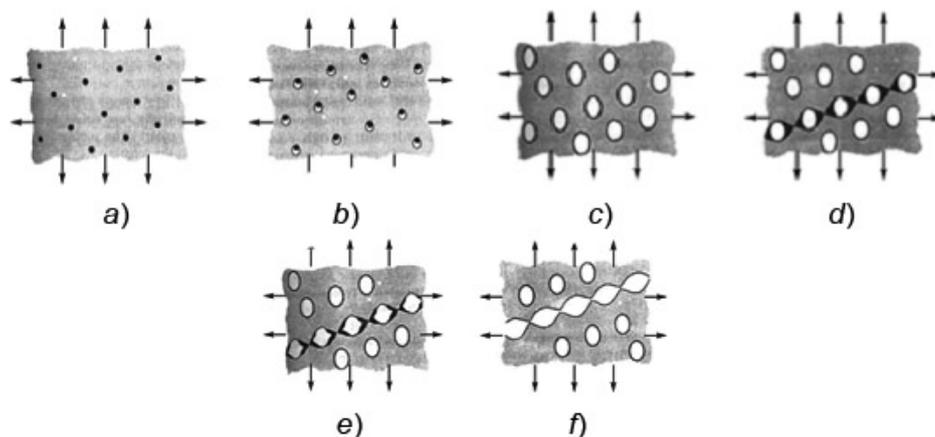


Рис. 2. Схема механизма вязкого разрушения стали, содержащей легирующие компоненты

Состояние металла	Горячий прокат	Нормализованный прокат	Контролируемая прокрутка	Термическое улучшение
Исходное				
После длительной эксплуатации				
Исходное	Равномерная	Питтинг/КРН	Питтинг/КРН	КРН
После длительной эксплуатации	Равномерная/язвенная	Язвенная	Язвенная	КРН
После завершения процесса старения	Язвенная	КРН/Язвенная	КРН	КРН

● - Углерод | - Чистая граница | - Граница со структурно-свободным цементитом

Рис. 3. Влияние процессов старения на коррозионное разрушение (КРН) под нагрузкой

Рассмотрим влияние режимов термической обработки стали на изменение ее физико-химических свойств. В процессе проведения термической обработки стали (например, горячий прокат, проводимый при $T = 900$ °С, и дополнительные механические воздействия на заготовку), в результате этих воздействий атомы ее компонентов, ранее располагавшиеся на расстоянии, соответствующем температуре плавления ($T = 1500$ °С), перейдут на новое устойчивое термодинамическое равновесие, отвечающее температурному уровню, равному ($T = 900$ °С).

При последующем охлаждении стали, прошедшей термическую обработку, атомы ее компонентов также будут находиться в неустойчивом термодинамическом равновесии, однако силы притяжения, возникшие вследствие ее охлаждения (от $T = 900$ °С до $T = 20$ °С) будут значительно ниже, чем силы притяжения, возникающие при охлаждении расплавленной стали (от $T = 1600$ °С до $T = 20$ °С). Поэтому стали, прошедшие термическую обработку с последующим отпуском, характеризуются повышенными механическими свойствами и существенным снижением скорости их старения.

В качестве примера на рис. 3 показана степень влияния различных термических обработок стали на процессы старения металлических изделий. Видно, что металлические изделия, которые перед эксплуатацией были подвергнуты горячему прокату, характеризуются равномерным расположением атомов углерода и чистой границей их раздела. Это в значительной мере способствует снижению скорости старения металлических изделий.

В зависимости от структурного и напряженно-деформированного состояния твердого тела, а также в зависимости от внешней среды, реализуются различные механизмы разрушения, такие как вязкое разрушение или межзеренный скол [5]. В ряде случаев возникает так называемая питтинговая (точечная) коррозия, зарождение которой происходит вследствие зарождающихся дефектов (например, царапин), а ее развитие происходит по электрохимическому механизму. При этом разрушение металлических изделий происходит вследствие анодно-катодной коррозии, которая связана с наличием химической неоднородности легирующих компонентов, входящих в их состав. При этом положительные ионы (катионы) движутся к катоду, а отрицательные ионы движутся к аноду.

Так, например, в соответствии с законом окислительно-восстановительных процессов легирующие компоненты стали 20 ГЛ, такие как С — 12; Si — 14; Р — 15; S — 16 и Mn — 25, ведут себя в роли катодов по отношению Fe — 26 (здесь цифрами указывается атомарный вес компонента).

В результате накопленных теоретических и экспериментальных сведений установлено, что с первых циклов нагружения в кристаллической решетке изделия происходит блокировка существующих межатомных связей с последующим их разрывом [6]. Далее происходит вовлечение новых объемов материала в интенсивное пластическое течение, пока вся поверхность металла не покроется микротрещинами длиной, равной размеру зерна. В результате в поверхностном слое металла развиваются отдельные устойчивые полосы скольжения, в которых к окончанию этой стадии развиваются первые субмикроскопические трещины. Следовательно, процессы старения металла (разрывы межатомных связей, сопровождающиеся межкристаллическим сколом или анодно-катодной коррозией) в соответствии с вторым началом термодинамики связаны с необратимым переходом структуры металла из упорядоченного состояния в неупорядоченное.

Принято считать, что в упорядоченной системе атомы, входящие в ее состав металлов, располагаются на минимально возможном расстоянии относительно друг от друга и находятся в устойчивом термодинамическом равновесии, обеспечивая тем самым получение требуемых свойств металлов (физических, механических, химических, сорбционных и т. п.).

В неупорядоченном состоянии системы, которое возникает вследствие старения металла (разрыв межатомных связей, межкристаллический скол, анодно-катодная коррозия), происходит увеличение межатомных расстояний, сопровождающееся необратимой потерей (частичной или полной) прочностных свойств металлов. Поскольку общепринятой мерой неупорядоченности любой системы является энтропия S , оценку остаточного ресурса деталей железнодорожного подвижного состава целесообразно проводить с использованием этого показателя:

$$S = k \cdot \ln G, \quad (2)$$

где k — постоянная Больцмана, G — число возможных микросостояний системы или статистический вес системы.

В последние годы в научной литературе [7] для оценки степени упорядоченности системы используются полуэмпирические зависимости между энергетическими параметрами веществ и так называемой структурной рыхлостью ω кристаллических веществ. Структурная рыхлость ω косвенно характеризует энергию межатомного взаимодействия вещества:

$$\omega = \frac{M}{n \cdot \rho}, \quad (3)$$

где M — молекулярная масса, n — число структурных узлов (атомов, ионов, комплексов) в формульной единице соединения, ρ — плотность вещества.

Физический смысл рыхлости аналогичен энтропии и состоит в том, что чем прочнее межатомные связи (больше энергия связи), тем сильнее проявляется эффект «стягивания» атомов в компактную

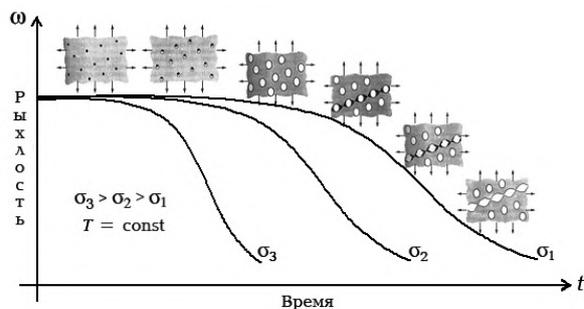


Рис. 4. Зависимость структурной рыхлости ω от времени t при различных значениях внешних напряжений σ и постоянной температуре T

кристаллическую структуру, что приводит к уменьшению как рыхлости, так и энтропии.

Из рис. 2 видно, что в начальный период эксплуатации металлических изделий процесс их старения происходит медленно вследствие постепенного образования микропор за счет миграции дефектов к микропримесей. Этот процесс характеризуется незначительным изменением величин межатомных связей и, как следствие, незначительным уменьшением прочностных свойств металлических изделий. Далее в процессе длительной эксплуатации металлических изделий наблюдается слияние макропор и развитие микропластической деформации, которые характеризуются лавинообразными разрывами межатомных связей. Вследствие этого изменение прочностных свойств металлических изделий происходит скачкообразно, сопровождается, как правило, возникновением различных аварийных ситуаций на железнодорожном транспорте.

На рис. 4 показана временная зависимость структурной рыхлости ω от времени t . Область наибольшего изменения рыхлости соответствует слиянию микропор и развитию микропластической деформации. Эти процессы протекают лавинообразно, практически без увеличения внешних нагрузок, но при этом сопровождаются значительным ростом структурной рыхлости и, следовательно, скачкообразным снижением прочностных свойств металлических изделий. Наличие внешних напряжений при постоянной температуре увеличивает скорость образования дефектов и сокращает срок эксплуатации изделия.

Согласно данным, приведенным в [7], зависимость теплопроводности λ от структурной рыхлости ω может быть аппроксимирована выражением

$$\lambda = 54498 \omega^{-3,831}. \quad (4)$$

Теплопроводность λ при постоянной температуре прямо пропорциональна электропроводности (закон Видемана — Франца), которая может оперативно контролироваться.

Для теоретической оценки скорости старения металлических изделий железнодорожного транспорта необходимо учитывать многочисленные случайные параметры, существенно влияющие на этот процесс [8–10]. Так, например, при движении грузового состава вследствие нарушения режима торможения на поверхности катания колесной пары может образоваться дефект в виде «ползуна». В результате произойдет существенное изменение динамических воздействий на ходовые части вагона, а, следовательно, и на скорость их старения.

Однако через некоторое время на определенном участке пути, в ходе выполнения служебного торможения, такой дефект может быть ликвидирован, что приведет к нормализации условий работы ходовых частей вагона.

С другой стороны, известны различные полумпирические зависимости [7], связывающие энергетические параметры металлических изделий с их структурной рыхлостью. Эти зависимости характеризуются довольно высокой степенью достоверности аппроксимации и не уступают соответствующим данным, получаемым в рамках других энергетических подходов. Поэтому установленные корреляционные зависимости представляют собой полезный инструмент для прогнозирования остаточного ресурса тяжело нагруженных деталей железнодорожного подвижного состава.

Для предотвращения аварийных ситуаций на железнодорожном транспорте необходимо располагать оперативными и достоверными средствами определения остаточного ресурса деталей железнодорожного подвижного состава, в том числе и в деповских условиях. В настоящее время работоспособность грузового подвижного состава обеспечивается на ПТО путем поддержания требуемого уровня технического состояния для безаварийного прохождения в рамках установленных гарантийных участков. Например, контроль технического состояния литых деталей оценивается по наличию или отсутствию трещин, который является трудозатратным и необъективным способом оценки.

Предлагаемый метод прогнозирования остаточного ресурса деталей железнодорожного подвижного состава базируется на использовании полумпирических расчетных зависимостей, связывающих изменение энергетических параметров металлических изделий (механическая прочность) с изменением их структурной рыхлости.

В точке перегиба на кривой $\omega(t)$, характеризующей изменение прочностных свойств металла от структурной рыхлости металла, имеется возможность однозначно установить момент перехода изделия в нерабочее состояние, благодаря чему можно определить значение остаточного ресурса деталей железнодорожного подвижного состава. При создании предлагаемого метода необходимо, с одной стороны, использовать информацию о техническом уровне современных средств измерения, позволяющую достаточно оперативно измерять требуемый энергетический параметр (прочностные свойства металлических изделий). А с другой стороны, используется набор стандартных образцов, характеризующихся различной степенью увеличения структурной рыхлости контролируемого металла (от зарождения разрывов межатомных связей до полного его разрушения). Из анализа данных, представленных на рис. 4, и его описания следует, что при увеличении на объект внешней нагрузки, время для образования и развития микро- и макропор, а также для слияния макропор с образованием шейки в перемычках существенно сокращается. Поэтому, в зависимости от степени воздействия внешней нагрузки на грузовой подвижной состав

(пробег грузового подвижного состава в порожнем или нагруженном состоянии), имеется возможность произвести количественную оценку появления преддефектного состояния его основных узлов и деталей [8]. Особенно важным аспектом предлагаемого метода является тот факт, что он позволяет в деповских условиях оперативно и достоверно определять остаточный ресурс деталей железнодорожного подвижного состава, обеспечивая тем самым безаварийную работу железнодорожного подвижного состава.

Библиографический список

1. Регель В. Р., Слуцкер А. И., Томашевский Э. Е. Кинетическая природа прочности твердых тел: моногр. М.: Наука, 1974. 560 с.
2. Френкель Я. И. Кинетическая теория жидкостей. Л.: Наука, 1975. 592 с.
3. Стеклов Л. Н. Стойкость материалов и конструкций к коррозии под напряжением. М.: Машиностроение, 1990. 384 с. ISBN 5-217-00500-9.
4. Иванова В. С., Терентьев В. Ф. Природа усталости металлов. М.: Металлургия, 1975. 456 с.
5. Матвиенко Ю. Г. Модели и критерии механизма разрушения. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 328 с. ISBN 5-9221-0669-4.
6. Гольдштейн М. И., Литвинов В. С., Бронфин Б. М. Металлофизика высокопрочных сплавов. М.: Металлургия. 1986. 312 с.
7. Зуев В. В., Поцелуева Л. Н., Гончаров Ю. Д. Кристаллоэнергетика как основа оценки свойств твердотельных материалов (включая магниевые цементы). СПб.: Изд-во завода «Альфапол», 2006. 139 с.
8. Матяш Ю. И., Сосновский Ю. М., Петракова А. Г. Физико-химические основы оценки остаточного ресурса узлов и деталей грузовых вагонов железнодорожного транспорта // Известия Транссиба. 2015. № 2 (22). С. 12–18.
9. Болотин В. В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. М.: Машиностроение, 1984. 312 с.
10. Левкович Т. И. Прогнозирование вероятности опасных хрупких разрушений корпусов автосцепок вагонов: автореф. дис. ... канд. тех. наук. Брянск, 2010. 22 с.

МАТЯШ Юрий Иванович, доктор технических наук, профессор (Россия), профессор кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство».

Адрес для переписки: MatyashUI@omgups.ru

СОСНОВСКИЙ Юрий Михайлович, кандидат физико-математических наук, доцент (Россия), доцент кафедры «Физика и химия».

Адрес для переписки: sosnovskyyim@mail.ru

РАЖКОВСКИЙ Александр Алексеевич, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава».

Адрес для переписки: RazhkovskiyAA@omgups.ru

КОНДРИКОВ Евгений Михайлович, преподаватель кафедры «Физика и химия».

Адрес для переписки: fh@omgups.ru

Статья поступила в редакцию 24.05.2016 г.

© Ю. И. Матяш, Ю. М. Сосновский, А. А. Ражковский, Е. М. Кондриков

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НОРМЫ СЛОЙНОСТИ НА ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ПНЕВМОШИН

В статье предложено определять грузоподъемность диагональных и радиальных пневмошин как функцию обобщенного геометрического параметра (DB/n_c) , равного произведению наружного диаметра D , ширины профиля B , поделенного на норму слойности n_c . Грузоподъемность шины Q зависит от геометрических параметров, давления в шине, нормы слойности и прочности шины. Получены графические зависимости, которые облегчают процедуру выбора параметров пневматической шины для заданных условий эксплуатации.

Предложено массу шины m , определять как функцию от обобщенного геометрического параметра (DBH) , представляющего собой произведение наружного диаметра D , ширины профиля B и высоты профиля H шины для каждой нормы слойности пневмошины.

Ключевые слова: грузоподъемность, масса шины, норма слойности.

Экономическая эффективность и прибыль от производства пневмошин достигается при их производстве и эксплуатации благодаря повышению их износостойкости и работоспособности.

Анализ параметров шин отечественных и зарубежных производителей позволяет установить некоторые пути совершенствования и тенденции их развития за последние десятилетия. Число типоразмеров пневматических шин средних и больших размеров достаточно велико, что обеспечивает громадный выпуск и высокую востребованность шин в мировой практике. Однако в ближайшей перспективе будет увеличиваться выпуск крупногабаритных шин.

Достижение этой цели возможно различными направлениями и средствами. Самое простое и естественное направление — реализация методов физического и математического моделирования для всего типоразмерного ряда пневмошин.

Однако с увеличением габаритных размеров пневмоколес возрастает площадь поверхности тора, увеличиваются силы по закону Паскаля и нагрузки в нитях корда. В результате этого увеличивается число слоев корда и снижается экономическая эффективность пневмошин.

Рыночные показатели всех видов пневматических шин наземных транспортных средств характеризуются индексом нагрузки, символом скорости, нормой слойности, давлением и другими показателями [1, 2]. Норма слойности является более сложным техническим и технологическим параметром, который определяет, в первую очередь, величину вертикальной нагрузки на шину, величину скорости движения и прочность шины, а также внутреннее давление в шине и многие другие показатели [3–8]. Задача снижения нормы слойности является прямой проблемой современной нанотехнологии пневмоколес. Вместе с тем естественное моделирование известных конструктивных решений и дости-

жений, апробированных на шинах малых и средних размеров, не будет столь эффективным при использовании на большегрузных и крупногабаритных шинах. Наибольший экономический эффект от производства и эксплуатации шин будет получен при совместной реализации нанотехнологии и использовании новых конструктивных технологических решений.

Шины одной нормы слойности, разных геометрических размеров, монтируемые на обод одного диаметра, выполненные по единой технологии, при других равных условиях можно рассматривать как геометрически подобные системы. Изучение признаков подобия шин, их взаимосвязь необходима для совершенствования конструкции шин и правильного выбора параметров для определенных условий эксплуатации. Слойность каркаса увеличивает прочность шины и ее способность воспринимать нагрузку. Например, шина с нормой слойности $n_c = 14$ при определенном давлении будет более жесткой по сравнению с шиной $n_c = 12$, которая при равной вертикальной нагрузке будет иметь меньшее сопротивление перекачиванию и лучшую топливную экономичность [9–11].

Шины повышенной нормы слойности имеют большую массу и большую грузоподъемность. Поэтому норма слойности — это сложный технический показатель, требующий тщательного изучения и развития.

На рис. 1 для диагональных шин показаны зависимости грузоподъемности Q от обобщенного геометрического показателя (DB/n_c) , равного произведению наружного диаметра D и ширины профиля B , поделенному на норму слойности n_c . Путем деления произведения DB на норму слойности происходит уменьшение этого произведения и снижается его влияние на грузоподъемность пневмошины.

Под графиком для каждой нормы слойности приведены уравнения корреляции грузоподъемно-

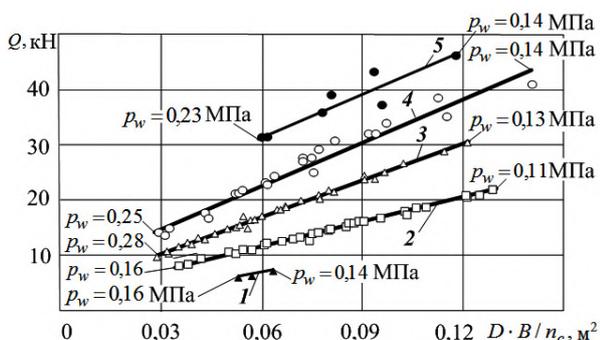


Рис. 1. Зависимость грузоподъемности Q диагональных пневмошин от обобщенного параметра DB/n_c — наружный диаметр, ширина профиля и норма слойности пневмошины

- 1 — $n_c = 4$, уравнение регрессии $Q = 107,04 (DB/n_c) + 0,4276$, коэффициент $R^2 = 0,9544$;
- 2 — $n_c = 6$, уравнение регрессии $Q = 148,45 (DB/n_c) + 2,7556$, коэффициент $R^2 = 0,9926$;
- 3 — $n_c = 8$, уравнение регрессии $Q = 221,77 (DB/n_c) + 3,7514$, коэффициент $R^2 = 0,9913$;
- 4 — $n_c = 10$, уравнение регрессии $Q = 262,21 (DB/n_c) + 6,9989$, коэффициент $R^2 = 0,9508$;
- 5 — $n_c = 12$, уравнение регрессии $Q = 260,66 (DB/n_c) + 15,7$, коэффициент $R^2 = 0,8508$;
- 6 — $n_c = 14$, шина 28L-26

сти Q от обобщенного показателя (DB/n_c) . Линейные зависимости на рис. 1 подтверждают геометрическое подобие пневмошин по критерию нормы слойности.

На рис. 2 получены зависимости грузоподъемности Q от обобщенного параметра (DB/n_c) — произведения наружного диаметра D , ширины профиля B , поделенного на норму слойности n_c для радиальных пневмошин ГОСТ [2].

На рис. 1, 2 зависимости грузоподъемности Q учитывают геометрические размеры шины, параметры прочности шины и давление воздуха p_w . Например, линейная зависимость 2 на рис. 2 для $n_c = 6$ начинается с шины 9,5R24, для которой давление $p_w = 0,28$ МПа, а заканчивается шиной 18,4R24 с давлением $p_w = 0,11$ МПа. Линейная зависимость 3 на рис. 2 для $n_c = 8$ начинается с шины 9,5R24 с давлением $p_w = 0,28$ МПа и заканчивается шиной 20,8R38 с давлением $p_w = 0,13$ МПа. Линейная зависимость 4 на рис. 2 для $n_c = 10$ начинается с шины 11,2R24 с давлением $p_w = 0,3$ МПа и заканчивается шиной 24,6R32 с давлением $p_w = 0,17$ МПа.

Зависимости, представленные на рис. 1, 2, отражают следующие физические закономерности. Для каждой нормы слойности при увеличении геометрических параметров, т.е. при увеличении произведения DB происходит увеличение грузоподъемности Q . Однако увеличение размеров пневмошины связано с увеличением нагруженности каркаса шины, поэтому при увеличении геометрических размеров шины, т.е. произведения DB , приходится для каждой нормы слойности уменьшать давление воздуха в шине.

Например, для диагональных шин (рис. 1) для зависимости 3 с нормой слойности $n_c = 8$ для увеличения грузоподъемности шины от $Q = 10$ кН до $Q = 30$ кН необходимо увеличить параметр (DB/n_c) от 0,03 до 0,12 и необходимо уменьшить давление воздуха в шине в диапазоне $p_w = 0,28 - 0,13$ МПа.

Для радиальных шин по рис. 2 наблюдаются аналогичные закономерности. Следовательно, по показателям грузоподъемности Q при равных

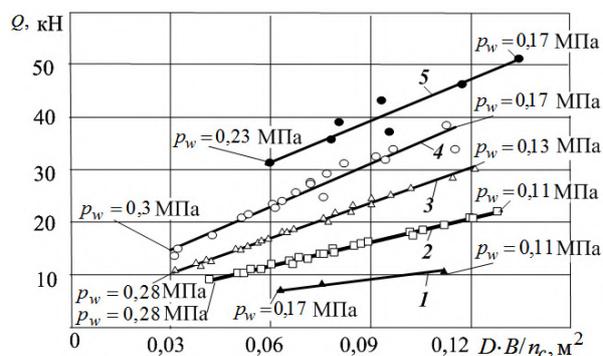


Рис. 2. Зависимость грузоподъемности Q радиальных пневмошин от обобщенного параметра DB/n_c — наружный диаметр, ширина профиля и норма слойности пневмошины

- 1 — $n_c = 4$, уравнение регрессии $Q = 71,454 (DB/n_c) + 2,8242$, коэффициент $R^2 = 0,9992$;
- 2 — $n_c = 6$, уравнение регрессии $Q = 150,32 (DB/n_c) + 2,7158$, коэффициент $R^2 = 0,9942$;
- 3 — $n_c = 8$, уравнение регрессии $Q = 220,89 (DB/n_c) + 3,9734$, коэффициент $R^2 = 0,994$;
- 4 — $n_c = 10$, уравнение регрессии $Q = 274,32 (DB/n_c) + 6,5221$, коэффициент $R^2 = 0,9478$;
- 5 — $n_c = 12$, уравнение регрессии $Q = 256,45 (DB/n_c) + 16,257$, коэффициент $R^2 = 0,8962$;
- 6 — $n_c = 14$, шина 28,1R26

геометрических размерах и давлении диагональные и радиальные шины характеризуются зависимостями (см. рис. 1, 2).

Таким образом, если, используя зависимость 2 (рис. 2), создать пневматическую шину грузоподъемностью $Q = 20$ кН для $n_c = 6$, то возникает задача выбора шины с такой же грузоподъемностью из других зависимостей. Грузоподъемность $Q = 20$ кН можно получить, используя нормы слойности $n_c = 8$ или $n_c = 10$. Зависимости 3 и 4 дают такую же грузоподъемность при меньших размерах пневмошин: для зависимости 3 $DB/n_c = 0,075$; для зависимости 4 $DB/n_c = 0,05$.

В данной ситуации необходимо сравнивать массу этих шин разной слойности при одинаковой грузоподъемности $Q = 20$ кН для кривых 2, 3, 4 (рис. 2). Очевидно, при выборе пневмошины необходимо учитывать массу и стоимость шины.

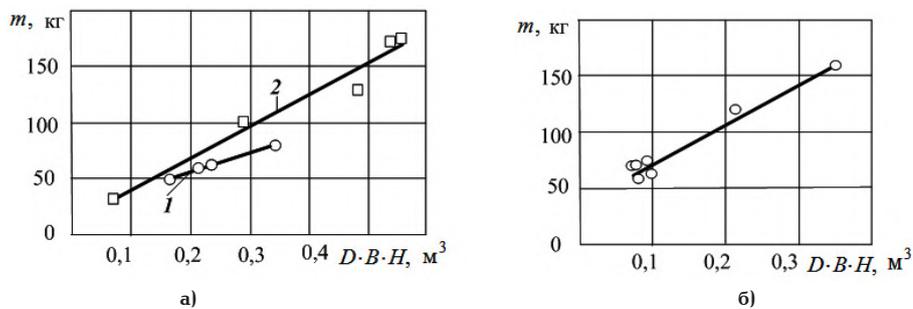
Зависимости грузоподъемности пневмошин от обобщенного параметра на рис. 1, 2 получены впервые и позволяют наглядно оценить возможные варианты выбора пневмошины для требуемых условий эксплуатации. Слойность шины является способом снижения геометрических размеров шины и массы путем уменьшения произведения величин D и B .

При определении массы пневмошины используем результаты исследований [8]. Массу шины m_k моделируем как массу пространственного геометрического тела в функции обобщенного параметра (DBH) — произведения наружного диаметра D , ширины профиля B и высоты профиля H .

На рис. 3а для диагональных пневмошин показана зависимость массы m_k от обобщенного параметра (DBH) для двух норм слойности $n_c = 16$ и $n_c = 24$.

На рис. 3б для радиальных пневмошин показана зависимость массы m_k от обобщенного параметра (DBH) для нормы слойности $n_c = 16$.

Представленные зависимости описаны уравнениями регрессии с высокими коэффициентами корреляции, которые приведены под рис. 3: $m_k = f(DBH)$.

Рис. 3. Зависимость массы m_k от обобщенного параметра (DBH):

- а) диагональные пневмошины:
 1 — $n_c = 16$, уравнение регрессии $m = 331,92 \text{ DBH} + 46,778$, коэффициент $R^2 = 0,9926$;
 2 — $n_c = 24$, уравнение регрессии $m = 560,35 \text{ DBH} + 24,972$, коэффициент $R^2 = 0,9448$;
 б) радиальные пневмошины:
 $n_c = 16$, уравнение регрессии $m = 356,96 \text{ DBH} + 36,714$, коэффициент $R^2 = 0,9559$

Для каждой нормы слоистости n_c масса шины увеличивается с увеличением геометрических размеров D , B , H . При увеличении нормы слоистости возрастает интенсивность увеличения массы.

Поэтому при выборе параметров шины необходимо решить проблему ограничения массы шины m_k двумя способами: 1 — снижением геометрических размеров; 2 — уменьшением нормы слоистости [11–13].

Оптимальное сочетание геометрических размеров D , B , H и нормы слоистости n_c позволяет получить минимальное значение массы шины и минимальную стоимость шины.

Развитие пневмоколес может происходить в направлении увеличения площади контакта шины. Эта задача решается за счет увеличения ширины беговой дорожки. При увеличении площади контакта изменяется соотношение давления воздуха в шине и средних удельных давлений в контакте. Для исследования взаимосвязи этих параметров используется коэффициент

$$C = \frac{p_w}{\sigma_k}, \quad (1)$$

где p_w — давление воздуха в шине; σ_k — среднее удельное давление в контакте.

Многие производители увеличивают коэффициент C до значений, близких к единице, снижая при этом давление воздуха в шине. При снижении средних удельных давлений в контакте относительно давления воздуха в шине увеличивается износостойкость шины. Одновременно с увеличением площади контакта возрастает подъемная сила пневмоколеса, увеличивается пробег с расчетной нагрузкой на оси.

Выводы. Грузоподъемность шины Q можно определять для каждой нормы слоистости как функцию обобщенного геометрического параметра (DB/n_c), равного произведению наружного диаметра D , ширины профиля B , поделенного на норму слоистости n_c . Геометрические параметры D , B и норма слоистости n_c влияют на грузоподъемность Q и массу пневмошины m_k . Массу пневмошины m_k удобно определять как обобщенную функцию (DBH) для каждой нормы слоистости.

Библиографический список

1. ГОСТ 8430-2003. Шины пневматические для строительных, дорожных, подъемно-транспортных и рудничных

машин. Введ. 2005–01–01. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004. 20 с.

2. ГОСТ 25641-84. Шины пневматические для тракторов и сельскохозяйственных машин. Введ. 1984–03–30. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1985. 39 с.

3. Бухин Б. А. Введение в механику пневматических шин. М.: Химия, 1988. 224 с.

4. Кнороз В. И. [и др.]. Работа автомобильной шины. М.: Транспорт, 1976. 238 с.

5. Бидерман В. А. [и др.]. Автомобильные шины (конструкция, расчет, испытания, эксплуатация / под ред. В. А. Бидермана. М.: Госхимиздат, 1963. 384 с.

6. Надеждин Г. В. К вопросу влияния ширины обода на грузоподъемность шины / Г. В. Надеждин // Автомобильная и тракторная промышленность. 1964. № 8. С. 12–14.

7. Тарасов В. Н. Экспериментальное исследование качения ведомого колеса по барабану и плоской поверхности / В. Н. Тарасов, Л. Г. Ягодкин, Э. Н. Голубев. Омск: СибАДИ, 1970. С. 45–48.

8. Бояркина И. В., Дегтярь В. В. Аналитическое и экспериментальное определение объема тора пневматической шины // Архитектура. Строительство. Транспорт: материалы международного конгресса. Омск: Изд-во СибАДИ, 2015. С. 238–242.

9. Тарасов В. Н., Бояркина И. В., Дегтярь В. В. Метод расчета грузоподъемности пневмоколеса и прочности каркаса автошины транспортного средства // Строительные и дорожные машины. 2015. № 5. С. 47–52.

10. Бояркина И. В. Технологическая механика однокровшовых фронтальных погрузчиков: моногр. Омск: Изд-во СибАДИ, 2011. 336 с.

11. Тарасов В. Н. Теоретический радиус качения эластичного колеса // Автомобильная промышленность. 1965. № 1. С. 5–6.

12. Тарасов В. Н. Грузоподъемность шины с жидким балластом // Тракторы и сельхозмашины. 1965. № 8. С. 10–12.

13. Тарасов В. Н., Бояркина И. В., Дегтярь В. В. Универсальные характеристики пневмоколес строительных и дорожных машин // Строительные и дорожные машины. 2015. № 12. С. 50–53.

ТАРАСОВ Владимир Никитич, доктор технических наук, профессор (Россия), профессор кафедры «Механика».

Адрес для переписки: tarasov_vladimir07@mail.ru

БОЯРКИНА Ирина Владимировна, доктор технических наук, профессор кафедры «Механика».

Адрес для переписки: iriboyarkina@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 01.06.2017 г.

© В. Н. Тарасов, И. В. Бояркина

УГЛЫ НАКЛОНА НИТИ К МЕРИДИАНУ НА СБОРОЧНОМ БАРАБАНЕ И ЭКВАТОРЕ ПОВЕРХНОСТИ РЕЗИНОКОРДНОЙ ОБОЛОЧКИ

В процессе анализа основной формулы расчета автомобильных шин, устанавливающей связь между углом наклона нити корда в любой точке автомобильной шины данного профиля и углом наклона нити по экватору шины, получены три формулы произведения синусов, дополнительно раскрывающие взаимодействие между углами наклона нити как на сборочном барабане, так и на поверхности шины. Полученные формулы актуальны для расчета резинокордных оболочек пневматических амортизаторов.

Ключевые слова: шина, резинокордная оболочка, расчет, сборочный барабан, угол наклона нити корда.

Пневматические резинокордные оболочки (РКО) получили широкое распространение благодаря своим эластичным свойствам, что позволяет им обеспечивать значительные перемещения и деформации под воздействием внешней нагрузки [1–3].

Каркас РКО состоит из нескольких слоев обрешеченного корда, образующих сеть перекрещивающихся слоев нитей. Как правило, каркас РКО представляет собой поверхность вращения, работающую под действием распределенных нагрузок и нагрузок, обусловленных передачей на оболочку осевых, радиальных и ряда других усилий. В связи с этим представляет практический интерес получение поверхности оболочки заданной формы и геометрии. Под геометрией РКО понимается расположение нитей на поверхности РКО и тех параметров, которые необходимы для ее расчетов.

В практике расчетов автомобильных шин и РКО [4–7] используют основное расчетное выражение

$$\sin\beta = \frac{\sin\alpha}{R_{SB}(1+\delta)} R. \quad (1)$$

В выражении (1) R — значение радиуса в произвольной точке профиля оболочки; отношение

$$\chi = \frac{\sin\alpha}{R_{SB}(1+\delta)} \quad (2)$$

технологическая постоянная определенная конкретно для выбранного угла α наклона нити к меридиану РКО на сборочном барабане R_{SB} и условной вытяжки нити корда δ .

Закон расположения нитей в каркасе РКО характеризуется линейной зависимостью между синусом угла β и радиусом R

$$\sin\beta = \chi R. \quad (3)$$

Приведенные формулы имеют свой предел применения, который, в первую очередь, связан с габаритами оболочки, сборочного барабана и углом наклона нити на сборочном барабане [5, с. 51], [8]. Как отмечает S. K. Clark, неверный выбор начальных условий приводит к получению нереализуемой на практике геометрии [6, с. 391].

Определим те исходные положения, при которых допустимо применение формул (1–3), так называемой «шинной геометрии» [9, с. 390].

Допустим, что при построении геометрической конфигурации РКО (профиля оболочки по вулканизационной форме) удлинения нитей не происходит, и условная вытяжка $\delta = 0$ [10].

Введем функцию технологической постоянной $\chi(\alpha)$

$$\chi(\alpha) = \frac{\sin\alpha}{R_{SB}}. \quad (4)$$

Технологическую постоянную $\chi(\alpha)$ будем рассматривать как функцию одной независимой переменной α , определенную на конечном интервале

$$0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2}.$$

Размерность технологической постоянной $\chi(\alpha)$ [1/м]. Радиус сборочного барабана R_{SB} постоянен. Изменение $\chi(\alpha)$ происходит вместе с изменением угла наклона нити α к меридиану на сборочном барабане от 0 до $\frac{\pi}{2}$. Минимальное и максимальное значение технологической постоянной $\chi(\alpha)$ достижимо в конечных точках интервала. Минимальное значение достижимо при $\alpha_0 = 0$. В этом случае $\chi(0)$.

Максимальное значение достижимо при

$$\alpha = \frac{\pi}{2}, \quad \sin \alpha = 1. \quad (5)$$

При этом

$$\chi\left(\frac{\pi}{2}\right) = \frac{1}{R_{SB}} \quad (6)$$

— обратная величина радиуса сборочного барабана.

График технологической постоянной представляет собой функцию, монотонно возрастающую от нуля до величины, равной обратной величине радиуса сборочного барабана R_{SB}

$$0 \leq \chi(\alpha) \leq \frac{1}{R_{SB}} < 1. \quad (7)$$

Обратные величины для функции $\chi(\alpha)$ будут иметь размерность [м]

$$R_p(\alpha) = \frac{1}{\chi(\alpha)} \quad (8)$$

и могут быть представлены в следующем виде:

$$R_p(\alpha) = \frac{R_{SB}}{\sin \alpha}, \quad (9)$$

где $R_p(\alpha)$ — расчетное (индекс «р») значение обратной величины функции технологической постоянной, которое мы назовем технологическим радиусом.

Отметим, что

$$R_p(\alpha) \cdot \chi(\alpha) = 1. \quad (10)$$

Максимальное значение $R_p(\alpha)$ стремится к бесконечности при $\alpha \rightarrow 0$; $R_p(\alpha)$ достигнет минимального значения, равного радиусу сборочного барабана R_{SB}

$$\left[(\alpha \rightarrow 0) \rightarrow (R_p(\alpha) \rightarrow \infty) \right] \geq R_p(\alpha) \geq \left[R_p\left(\frac{\pi}{2}\right) = R_{SB} \right]. \quad (11)$$

Сформулируем теорему о номинальном угле закроя нити корда на сборочном барабане.

При фиксированном значении угла наклона нити β_k к меридиану на поверхности оболочки существует угол наклона нити на сборочном барабане α_o такой, что выполняется следующее соотношение (1), связывающее $\sin \beta_k$, радиусы $R_k(\alpha_o)$, R_{SB} с углом наклона нити к меридиану на сборочном барабане α_o

$$\sin \beta_k = \frac{R_k(\alpha_o)}{R_{SB}} \sin \alpha_o. \quad (12)$$

Угол α_o , удовлетворяющий уравнению (12) при заданных $R_k(\alpha_o)$, R_{SB} и фиксированном значении $\sin \beta_k$, будем называть номинальным углом наклона нити на сборочном барабане или углом закроя корда.

Поставим в соответствие радиусу экватора $R_k(\alpha_o)$, соответствующего номинальному углу наклона нити α_o , такое значение технологического радиуса $R_p(\alpha_g)$, соответствующее углу наклона нити α_g на сборочном барабане рис. 1, при котором

$$R_p(\alpha_g) = R_k(\alpha_o). \quad (13)$$

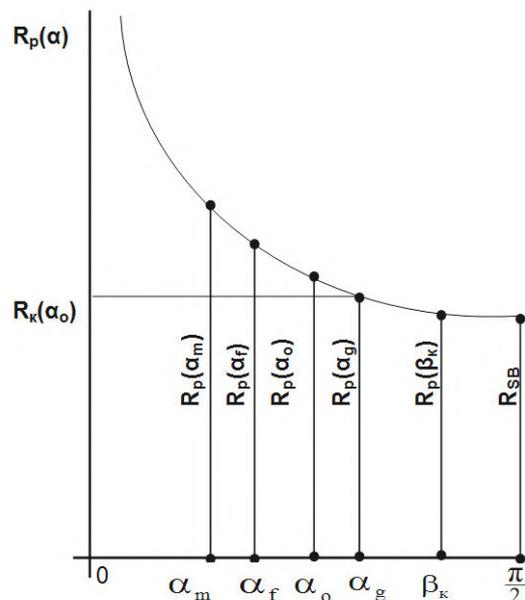


Рис. 1. График зависимости технологического радиуса $R_p(\alpha)$ от угла закроя корда и значения функции $R_p(\alpha)$ в точках $\alpha_m, \alpha_f, \alpha_o, \alpha_g, \pi/2$

Уравнение (13) означает, что величина заданного радиуса экватора $R_k(\alpha_o)$ совпадает с величиной технологического радиуса $R_p(\alpha_g)$: при некотором угле закроя корда α_g , который соответствует радиусу экватора («габаритам») РКО.

В силу определения (10)

$$R_p(\alpha_g) = \frac{R_{SB}}{\sin \alpha_g}. \quad (14)$$

Приравняв (13) и (14), получим

$$\sin \alpha_g = \frac{R_{SB}}{R_k(\alpha_o)}. \quad (15)$$

Связь между радиусом сборочного барабана R_{SB} и радиусом экватора $R_k(\alpha_o)$ при угле наклона нити корда α_g получим из выражения (15)

$$R_{SB} = R_k(\alpha_o) \cdot \sin \alpha_g \quad (16)$$

и

$$\alpha_g = \arcsin \frac{R_{SB}}{R_k(\alpha_o)}. \quad (17)$$

Преобразовав выражение (12), с использованием соотношения (16) получим

$$\sin \beta_k = \frac{\sin \alpha_o}{\sin \alpha_g} \quad (18)$$

или

$$\sin \alpha_o = \sin \alpha_g \cdot \sin \beta_k. \quad (19)$$

Из (19) следует

$$\alpha_o = \arcsin(\sin \alpha_g \cdot \sin \beta_k). \quad (20)$$

Отметим, что в выражении (20) величина угла наклона нити α_o меньше единицы.

Таким образом, при заданных величинах радиуса сборочного барабана R_{SB} , радиуса экватора $R_k(\alpha_o)$ каркаса РКО, а также угла наклона нити β_k к меридиану на экваторе поверхности оболочки номинальный угол наклона нити существует и определен единственным образом.

Полученную формулу (19) назовем первой формулой произведения синусов для определения синуса номинального угла закроя нити корда на сборочном барабане.

Полученные выражения и определяют те исходные положения, при которых допустимо применение формул «шинной геометрии», а также позволяют получить ряд новых формул, которые приведены в следующих следствиях.

Следствие 1. Аналогично формуле (19) выражение

$$\sin \alpha_m = \sin \alpha_g \cdot \sin \alpha_o \quad (21)$$

назовем второй формулой произведения синусов.

Она определяет меньшее значение угла наклона нити на сборочном барабане по отношению к номинальному углу закроя (индекс «m»).

Из (21) следует

$$\alpha_m = \arcsin(\sin \alpha_g \cdot \sin \alpha_o). \quad (22)$$

Формулу (22) с учетом формулы (19) возможно представить в следующем виде:

$$\sin \alpha_m = \sin^2 \alpha_g \cdot \sin \beta_k. \quad (23)$$

В общем случае имеет место формула

$$\sin \alpha_{mj} = \sin^{j+1} \alpha_g \cdot \sin \beta_k, \quad (24)$$

где j — целое число.

Следствие 2. На интервале $\left[0, \frac{\pi}{2}\right]$ существует угол, где

$$\alpha = \beta_k. \quad (25)$$

Для этого угла выполняется следующее соотношение

$$R_p(\beta_k) = \frac{R_{SB}}{\sin \beta_k}. \quad (26)$$

Следствие 3. Имеет место третья формула произведения синусов

$$\sin \alpha_f = \sin \alpha_o \cdot \sin \beta_k \quad (27)$$

или

$$\sin \alpha_f = \sin \alpha_g \cdot \sin^2 \beta_k. \quad (28)$$

Следствие 4. Положение рассмотренного угла α_f относительно угла α_m на интервале $\left[0, \frac{\pi}{2}\right]$ удовлетворяет соотношению

$$\frac{\sin \alpha_m}{\sin \alpha_f} = \frac{\sin \alpha_g}{\sin \beta_k}, \quad (29)$$

которому соответствуют следующие условия:

$$((\alpha = \beta_k) > \alpha_g) \rightarrow (\alpha_f > \alpha_m), \quad (30)$$

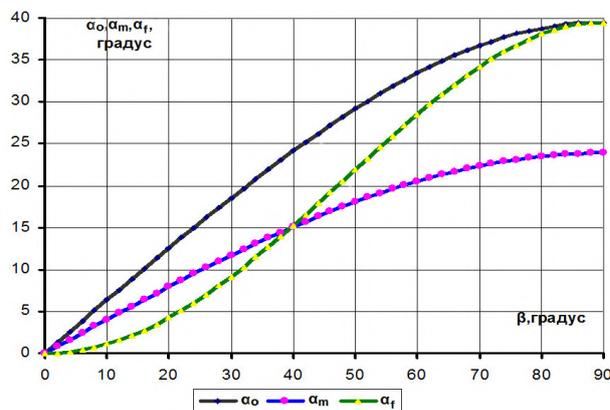


Рис. 2. Графики зависимости углов наклона нити $\alpha_o, \alpha_m, \alpha_f$ от изменения угла наклона нити β_k на поверхности оболочки $\alpha_o, \alpha_m, \alpha_f$

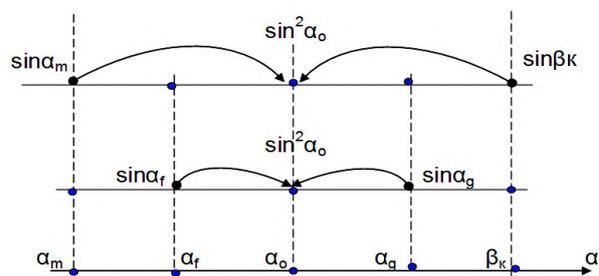


Рис. 3. Схематическое изображение формул (33) и (34)

$$((\alpha = \beta_k) < \alpha_g) \rightarrow (\alpha_f < \alpha_m). \quad (31)$$

Выражения (30–31) позволяют сделать следующий вывод: при изменении положения угла наклона нити β_k к меридиану поверхности оболочки, относительно угла α_g , углы α_m и α_f достигают равенства при условии

$$(\beta_k = \alpha_g) \rightarrow (\alpha_m = \alpha_f). \quad (32)$$

То есть при рассмотрении углов α_m и α_f как функций угла β_k получим кривые, имеющие точку пересечения, определяемую выражением (32).

Графики зависимости изменения углов наклона нити $\alpha_o, \alpha_m, \alpha_f$ от величины угла наклона нити β_k на поверхности оболочки приведены на рис. 2.

График выполнен для автомобильной шины 9.00-20, при радиусе обода 30,3 мм и внутреннем радиусе экватора 476,5 мм. Угол наклона нити корда по экватору 52° [4, с. 90].

На рис. 2 номинальный угол наклона нити α_o изменяется вместе с углами α_m и α_f . При этом синус угла наклона нити α_o является средним пропорциональным для синусов углов α_m и β_k , а также α_f и α_g :

$$\sin^2 \alpha_o = \sin \alpha_m \cdot \sin \beta_k \quad (33)$$

$$\sin^2 \alpha_o = \sin \alpha_f \cdot \sin \alpha_g \quad (34)$$

На рис. 3 приведено схематическое изображение формул (33) и (34).

Выводы.

1. Введенная функция технологической постоянной позволила определить технологический радиус, которому соответствуют угол наклона нити

на сборочном барабане и заданный угол наклона нити к меридиану на экваторе поверхности РКО.

2. Получена первая формула произведения синусов, которую можно применять как основную при расчете геометрии нитей корда в каркасе РКО.

3. Установлено, что номинальный угол наклона нити на сборочном барабане при заданных величинах радиуса сборочного барабана, радиуса экватора каркаса, а также угла наклона нити β_k к меридиану на экваторе поверхности оболочки существует и определен единственным образом.

4. Полученные первая, вторая и третья формулы произведения синусов

$$\sin \alpha_o = \sin \alpha_g \cdot \sin \beta_k,$$

$$\sin \alpha_m = \sin \alpha_g \cdot \sin \alpha_o,$$

$$\sin \alpha_f = \sin \alpha_o \cdot \sin \beta_k$$

позволяют оценить характер изменения номинального угла наклона нити при изменении угла наклона нити к меридиану на поверхности резинокордной оболочки.

5. Синус номинального угла наклона нити (угла закроя корда) является средним пропорциональным для произведения синусов попарно крайних и попарно внутренних углов наклона нити на сборочном барабане.

Библиографический список

1. Равкин Г. О. Пневматическая подвеска автомобиля / ред. А. А. Лапин. М.: Машгиз, 1962. 288 с.
2. Певзнер Я. М. Пневматические и гидропневматические подвески. М.: Машгиз, 1963. 319 с.
3. Пневматические упругие элементы с резинокордными оболочками. Расчет, конструирование, изготовление и эксплуатация: сб. науч. тр. / Под ред. Г. А. Колоколова. М.: ЦНИИТЭ-нефтехим, 1977. 133 с.

4. Бидерман В. Л. [и др.]. Автомобильные шины / под общ. ред. В. Л. Бидермана. М.: Госхимиздат, 1963. 383 с.

5. Бухин Б. А. Введение в механику пневматических шин. М.: Химия, 1988. 222 с. ISBN 5-7245-01-02-3.

6. Clark S. K. Mechanics of Pneumatic Tires: monogr. 122. Washington, DC: National Bureau of Standards, 1971. 853 p.

7. Zorowski C., Dunn S., Shah N.. The Influence of Geometric and Cord-Load Design Parameters on the Profile Shape and Cord Tensions in Inflated Pneumatic Tires // Textile Res. Journal. 1971. Vol. 41, no. 6. P. 501–509. DOI 10.1177/004051757104100605.

8. Entwistle K. The behaviour of braided hydraulic hose reinforced with steel wires // Int. Journal of Mech. Sci. 1981. Vol. 23, no. 4. P. 229–241. DOI 10.1016/0020-7403(81) 90048-5.

9. Бидерман В. Л. Механика тонкостенных конструкций. Статика. М.: Машиностроение, 1977. 488 с.

10. Rao S., Daniel I., Gdoutos E. Mechanical properties and failure behavior of cord/rubber composites // Applied Composite Mat. 2004. Vol. 11, no. 6. P. 353–375. DOI 10.1023/B:ACMA.0000045312.61921.1f.

ЩЕПЕТКОВ Владимир Александрович, научный сотрудник.

АНИКИН Евгений Сергеевич, главный конструктор.

ЗУБАРЕВ Александр Викторович, кандидат технических наук, генеральный директор.

ЗВОНОВ Александр Олегович, конструктор третьей категории.

Адрес для переписки: otdel2@progress-omsk.ru

Статья поступила в редакцию 21.04.2017 г.

© В. А. Щепетков, Е. С. Аникин, А. В. Зубарев, А. О. Звонов

Книжная полка

Гуртяков, А. Металлорежущие станки. Расчет и проектирование : учеб. / А. Гуртяков. – 2-е изд. – М. : Юрайт, 2016. – 136 с. – ISBN 978-5-9916-7730-1.

В учебнике изложены основы кинематического расчета приводов металлорежущих станков. На примере токарно-винторезного станка подробно рассмотрен кинематический расчет привода главного движения металлорежущего станка. Изложены основы методики расчета шпиндельных узлов, направляющих, тяговых устройств. Даны необходимые методические указания, рекомендации, расчетные формулы, приведены справочные материалы. Для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования и начинающих преподавателей.

Проектирование металлообрабатывающих инструментов : учеб. пособие для вузов по направлениям подготовки «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», «Автоматизация технологических процессов и производств» / А. Г. Схиртладзе [и др.]. – 2-е изд., стер. – СПб. : Лань, 2015. – 251 с.

В учебном пособии рассмотрены вопросы организации и проведения курсового проектирования режущего инструмента. Излагаются методики расчета мерного осевого инструмента, специальных видов режущего инструмента; предложены расчеты типовых конструкций деталей. Целью пособия является обучение технологии разработки новых перспективных режущих инструментов, а также формирование навыков системного подхода при решении сложных технических задач. Предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки в области машиностроения. Книга будет полезна для инженерно-технических работников, занимающихся вопросами проектирования металлообрабатывающих инструментов.

ВЛИЯНИЕ КАРБИДА БОРА НА СВОЙСТВА НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА НА ОСНОВЕ ДИСПЕРСИОННО-ТВЕРДЕЮЩЕЙ ХРОМОНИКЕЛЕВОЙ СТАЛИ

Проанализированы преимущества и недостатки хромоникелевых сталей, используемых для наплавки покрытий уплотнительных поверхностей запорной трубопроводной арматуры. На основе этого предложен новый состав порошковой проволоки, обеспечивающий после наплавки металл системы легирования Cr-Ni-Mo-Mn-Si-Nb-Ti-B. Представлены структура и свойства такого металла. Установлено, что предложенная порошковая проволока обеспечивает комплексное упрочнение матрицы наплавленного покрытия карбоборидными и интерметаллидными фазами, что позволяет существенно повысить работоспособность и надежность узлов запорной арматуры, работающих на истирание в контакте с агрессивными средами.

Ключевые слова: запорная арматура, хромоникелевая сталь, карбид бора, наплавка, порошковая проволока, структура, твердость, износостойкость.

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-19-01224).

Введение. Значительная потребность нефтехимических предприятий в запорной арматуре и высокий уровень цен на данные виды изделия обуславливают необходимость увеличения их фактического срока службы и длительности межремонтного периода.

Как показывают экономические расчеты, эффективность ремонта единицы отказавшего запорного устройства на специализированном ремонтном предприятии в среднем не превышает 60 % стоимости нового изделия. Наиболее перспективно повышение уровня рентабельности ремонта увеличением длительности межремонтного периода за счет соответствующего роста эксплуатационной стойкости отремонтированного запорного устройства по сравнению со стойкостью нового серийного [1].

Опыт эксплуатации запорной арматуры показывает, что ее надежность и долговечность в значительной мере зависят от работоспособности уплотнительных поверхностей деталей, для обеспечения которой их обычно наплавляют специальными сталями и сплавами [2]. Широкое применение для наплавки нашли наплавочные материалы на основе аустенитно-ферритных дисперсионно-твердеющих Cr-Ni-Si сталей [3–7].

Чаще всего для наплавки таких деталей рекомендуется использовать наплавочные материалы

типов 08X17H8C6Г [2, 5]. Наплавленный такими материалами металл имеет высокую стойкость против коррозионного и эрозионного износа и сохраняет свои характеристики в течение длительного срока эксплуатации. Однако для предотвращения растрескивания покрытий при наплавке необходимо применять высокотемпературный подогрев деталей. Температура подогрева при наплавке Cr-Ni-Si-сталей с твердостью 40–50 HRC достигает 500 °C и выше, что делает процесс весьма трудоемким.

В результате кристаллизации хромоникелькремнистых сталей формируется двухфазная структура с различным соотношением δ/γ -фаз [8]. При этом δ -феррит является метастабильной фазой и при определенных условиях происходит ее распад с образованием σ -фазы по схеме $\delta \rightarrow \sigma \rightarrow \gamma$ [9]. Склонность таких сталей к сигматизации и термическому упрочнению при длительной эксплуатации арматуры с температурой среды 425–550 °C может привести к растрескиванию сплава непосредственно на действующем энергообъекте и вызвать аварийную ситуацию.

Твердость наплавочных Cr-Ni-Si-сталей определяется содержанием в их составе легирующих элементов — кремния и хрома, количеством ферритной фазы и степенью ее распада при нагреве. Повышение стабильности δ -феррита и подавление

Химические составы исследуемых порошковых проволок

Составы		Количественный состав порошковой проволоки, %								
		Cr	Ni	Mn	FeNb	Mo	FeTi	FeSi	B ₄ C	Fe порошок
Исследуемые	1	12,0	1,0	1,0	0,5	2,0	1,0	0,5	0,3	26,3
	2	14,0	2,0	2,0	1,0	3,0	1,5	1	0,6	19,5
	3	16,0	3,0	2,5	1,5	4,0	2,3	1,5	0,8	12,5
	4	18,0	4,0	3,0	2,0	5,0	3,0	2	1,0	5,7
	5	18,5	4,5	3,2	2,5	5,5	3,5	2,5	1,2	1,9
Известный	6	18,5	9	1,5	—	—	1,3	7,5	—	8,6

Таблица 2

Результаты дюрометрических исследований металла покрытий

Составы		Твердость наплавленного металла				Относительная износостойкость
		после наплавки		после старения		
		HRC	HV	HRC	HV	
Исследуемые	1	32	332...355	38	390...413	1,64
	2	25	257...271	40	418...446	2,37
	3	25,5	268...286	42,5	451...473	2,49
	4	29	305...327	44	467...506	2,52
	5	31	304...346	43	465...481	2,41
Известный	6	30	290...320	39	400...425	1,06

процесса образования σ -фазы в таких сталях достигается подбором определенного соотношения феррито- и аустенизирующих элементов, входящих в их состав. В то же время большое количество запорной арматуры используется в системах добычи, транспорта и хранения газа и нефти при нормальных температурах эксплуатации. В этих случаях большими возможностями обладают хромоникелевые коррозионно-стойкие стали с твердыми высокопрочными частицами, в том числе и σ -фазы, армирующими матрицу.

Выполненными ранее исследованиями установлено, что введение в экономнолегированную мартенситно-стареющую сталь боридных соединений обеспечивает получение композиционной структуры, обладающей повышенными эксплуатационными характеристиками [10, 11].

В связи с изложенным исследовали влияние боридных соединений на структуру и эксплуатационные свойства хромоникелевой стали, легированной молибденом, кремнием, марганцем, ниобием и бором.

Объекты и методы исследований. В работе исследовали металл системы Cr-Ni-Mo-Mn-Si-Nb-Ti-B, полученный наплавкой порошковой проволокой, в состав которой дополнительно введен карбид бора (табл. 1). Для сравнения производили также наплавку известной порошковой проволокой ПП-АН133 (10X17H9C5ГТ) [12].

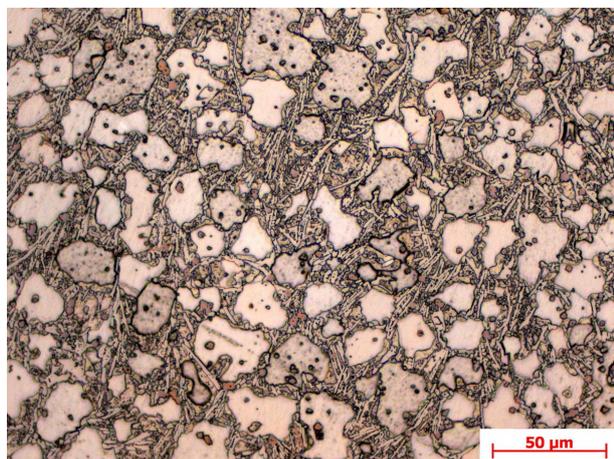
Наплавку осуществляли на пластины из стали Ст3 размером 200×50×10 мм опытными порошковыми проволоками диаметром 2,4 мм. В качестве оболочки проволоки использовали стальную ленту марки 08кп размером 15×0,8 мм по ГОСТ 503-81. Режим наплавки: сила тока 230 А; напряжение 24 В; скорость наплавки 20 м/ч. Наплавленный металл исследовался в исходном состоянии и после старения при температуре 500 °С в течение 2–6 часов.

Металлографические исследования наплавленного металла проводили на оптическом микроскопе AXIO Observer A1m (Carl Zeiss). Микроструктура выявлялась химическим травлением в реактиве состава: CuSO₄ — 4 г; HCl — 20 мл; H₂O — 20 мл.

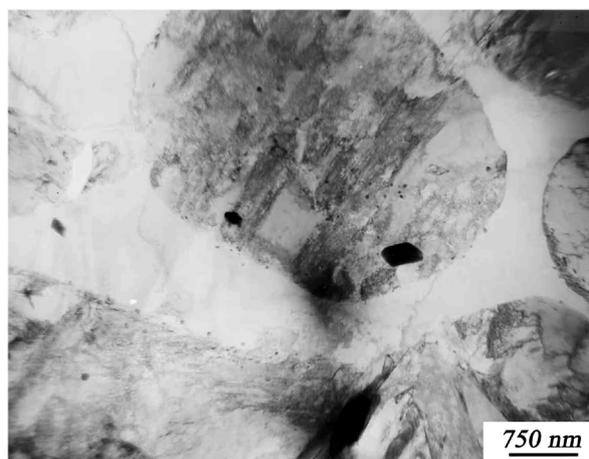
Электронно-микроскопические исследования осуществляли на фольгах с использованием просвечивающего электронного микроскопа JEM-2100 «JEOL» с энергодисперсионным анализатором Inca-250.

Дюрометрические исследования проводили на образцах из наплавленного металла после наплавки и старения: твердость по Роквеллу измеряли на приборе ТК-2; твердость по Виккерсу измеряли на приборе Shimadzu HNV-2 при нагрузке P = 1,96 Н.

Испытания на износостойкость проводились при трении о не жестко закрепленные абразивные частицы. В качестве эталонных образцов применя-



а)



б)

Рис. 1. Структура материала наплавленного покрытия, полученного порошковой проволокой состава 4: микроструктура (а); тонкая структура (б)

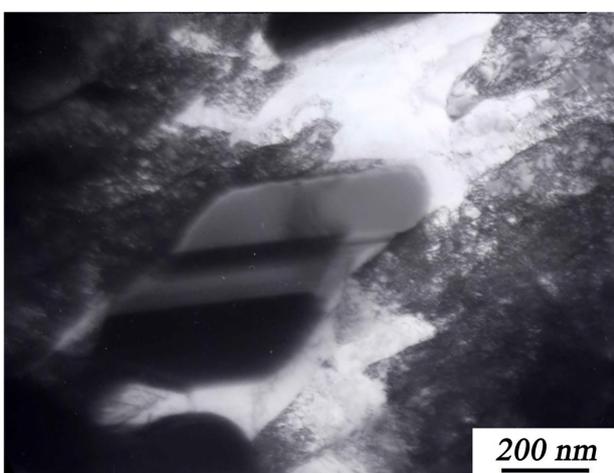


Рис. 2. Образование выделений σ -фазы в пограничном участке

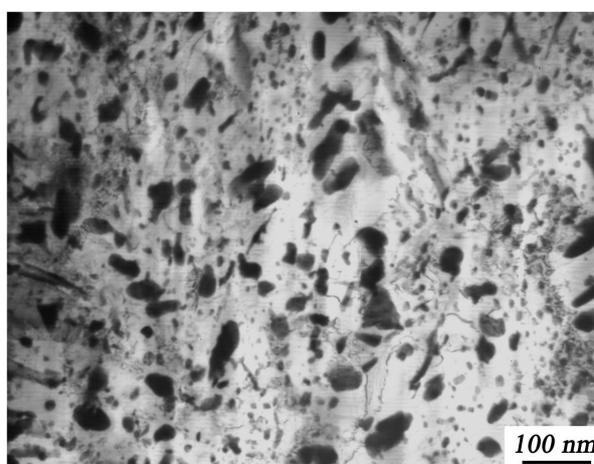


Рис. 3. Топография упрочняющих фаз, выделившихся в процессе старения

лись образцы из стали 20Х13 в закаленном состоянии.

Результаты и обсуждение. Установлено, что металл наплавленных покрытий однороден, макropоры и трещины отсутствуют. Распределение легирующих элементов между структурными составляющими матрицы равномерно. В этих условиях химический состав покрытий незначительно (не более чем на 10 % от содержания легирующего компонента) отклоняется от состава порошковых проволок.

Результаты дюрOMETрических исследований и испытаний на износостойкость металла покрытий, полученных изучаемыми порошковыми проволоками, сведены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, наилучшими свойствами обладает металл покрытия, полученного порошковой проволокой состава 4. Он превосходит металл, полученный известной проволокой, по твердости в 1,4–1,7 раза и по износостойкости в 2,4 раза.

Как показали металлографические исследования, такой металл имеет структуру, характерную для композитов (рис. 1). Данная структура состоит из пересыщенного легирующими элементами твердого раствора с мартенситной матрицей и эвтектической составляющей (Mo , Cr , Fe , Nb)₂В в виде

участков по границам бывших зерен аустенита. Мелкодисперсная эвтектика отличается высокой твердостью, обусловленной содержанием большого количества боридов. По мере увеличения концентрации бора растет и количество эвтектической составляющей, которая образует сплошной прочный каркас (рис. 1а). Кроме того, из-за значительного содержания феррито-образующих элементов в наплавленном металле в процессе кристаллизации образуется метастабильный δ -феррит в виде разноориентированных прослоек между рейками мартенсита (рис. 1 б).

При старении такого наплавленного металла при 500 °С в течение 2 часов метастабильный δ -феррит претерпевает распад с образованием σ -фазы. Как правило, этот процесс протекает на межфазных границах. На рис. 2 показано наличие выделений σ -фазы после старения.

Эти выделения представляют собой заостренные пластины размерами 300÷550 нм. В процессе превращения происходят миграции границ, поэтому частицы σ -фазы после термической обработки оказываются на границе α -фазы. Выявленная форма выделившейся фазы характерна для сдвигового превращения, поскольку требует минимум затраченной энергии, необходимой для деформации

матрицы. Одновременно с этим происходит упрочнение матрицы мелкодисперсными карбоборидными и интерметаллидными фазами: $(Cr, Mo, Fe, Nb, Ti)_{23}(C, B)_6$, $(Fe, Cr, Si)_2(Mo, Ti)$ и $(Ni, Fe)_3Ti$ (рис. 3), аналогичными полученным ранее в мартенситно-старяющихся сталях [6, 7].

Дальнейшее старение наплавленного металла при 500 °С в течение 6 часов приводит к образованию чисто мартенситной структуры, вызывает рост частиц σ -фазы и увеличение их объемной доли. В процессе роста пластины σ -фазы удлиняются в результате продвижения первоначальной плоскости сдвига, достигая размеров до 1500 нм при этом сохраняя чечевицеобразную форму. Возникающие вокруг исходной пластинчатой частицы градиенты состава и деформации препятствуют ее сфероидизации.

Таким образом, высокую износостойкость металла исследуемых покрытий можно объяснить комплексным упрочнением мартенситной матрицы карбоборидными и интерметаллидными фазами.

Заключение. Введение карбида бора в состав порошковой проволоки на основе высокохромистой коррозионноустойчивой стали обеспечивает получение композиционной структуры металла покрытий, упрочненной карбоборидными и интерметаллидными фазами и обуславливающей высокие показатели твердости и износостойкости. Применение данной проволоки в качестве наплавочного материала позволяет существенно повысить работоспособность и надежность узлов запорной арматуры, работающих на истирание в контакте с агрессивными средами.

Библиографический список

1. Карелин И. Н. Повышение долговечности запорной арматуры на предприятиях «Мострансгаз» // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 1997. № 4. С. 38–40.
2. Лопухов Ю. И. Повышение эксплуатационных свойств трубопроводной арматуры дуговой наплавкой. Усть-Каменогорск: Изд-во ВКГТУ. 2002. 136 с.
3. Еремеев В. Б., Стреляный Ю. В. Выбор сплава для наплавки уплотнительных поверхностей трубопроводной арматуры // Автоматическая сварка. 1990. № 5. С. 49–52.
4. Еремеев В. Б., Стреляный Ю. В., Фрумин И. И. Разработка порошковой проволоки и ленты для наплавки трубопроводной арматуры // Теоретические и технологические

основы наплавки. Наплавочные материалы. Киев: Изд-во ИЭС им. Е. О. Патона АН УССР, 1978. С. 3–7.

5. Степин В. С., Старченко Е. Г., Волобуев Ю. С. [и др.]. Современные наплавочные материалы для уплотнительных поверхностей арматуры АЭС и ТЭС // Арматуростроение. 2006. № 2. С. 55–56.
6. Степин В. С., Старченко Е. Г., Андреев А. П. Применение дисперсионно-твердеющих Cr-Ni-Si сталей для элементов затворов и наплавки уплотнительных поверхностей арматуры ТЭС и АЭС // Арматуростроение. 2006. № 3. С. 66–69.
7. Рябцев И. А. Наплавочный сплав с повышенным эффектом вторичного твердения // Материаловедение. 2006. № 12. С. 37–41.
8. Багров В. А. Влияние способа износостойкой наплавки на распределение упрочняющей фазы в наплавленном металле // Автоматическая сварка. 2000. № 11. С. 44–47.
9. Колчин В. Г., Данилов В. Г. [и др.]. Особенности превращения δ -феррита в двухфазной хромоникелевой стали // Известия АН СССР. Металлы. 1986. № 2. С. 109–111.
10. Yeregin Y. N., Losev A. S. Mechanical Properties and Thermal Stability a Maraging Steel With Borides, Deposited with a Flux-Cored Wire // Welding International. 2014. Vol. 28. Issue 6. P. 465–468. DOI: 10.1080/09507116.2013.840041.
11. Лосев А. С., Еремин Е. Н., Филиппов Ю. О. Исследование влияния боридов на упрочнение мартенситно-старяющейся стали // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии. 2010. № 2 (90). С. 131–134.
12. Юзвенко Ю. А. Порошковые проволоки для наплавки // Автоматическая сварка. 1972. № 5 (230). С. 67–70.

ЕРЕМИН Евгений Николаевич, доктор технических наук, профессор (Россия), заведующий кафедрой «Машиностроение и материаловедение», директор машиностроительного института.

ЛОСЕВ Александр Сергеевич, старший преподаватель кафедры «Машиностроение и материаловедение».

МАТАЛАСОВА Арина Евгеньевна, студентка гр. С-131 машиностроительного института.

БОРОДИХИН Сергей Александрович, ассистент кафедры «Машиностроение и материаловедение».

ПОНОМАРЕВ Иван Андреевич, студент гр. С-131 машиностроительного института.

Адрес для переписки: weld_techn@mail.ru

Статья поступила в редакцию 01.08.2017 г.

© Е. Н. Еремин, А. С. Лосев, А. Е. Маталасова,
С. А. Бородихин, И. А. Пономарев

НИТРИДНО-БОРИДНОЕ УПРОЧНЕНИЕ МАРТЕНСИТНОЙ СТАЛИ

Проанализировано раздельное использование азота и бора для легирования коррозионностойких сталей. Предложено комплексное совместное применение соединений азота и бора для упрочнения хромистой стали с мартенситной матрицей. Разработан новый состав высокохромистой порошковой проволоки с комплексом боридных соединений (BN , TiB_2 , ZrB_2), обеспечивающий получение наплавленного металла композиционного типа. Приведены результаты исследований структуры, свойств и фазового состава такого металла. Установлено, что образование в таком металле мартенситной матрицы с уменьшенным средним размером фрагментов структуры, возникающих вследствие выделения дисперсных нитридно-боридных фаз, обуславливает высокие показатели твердости и износостойкости покрытий, наплавленных новой порошковой проволокой.

Ключевые слова: хромистая сталь, мартенситная структура, бориды, упрочнение, наплавка, порошковая проволока, твердость.

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-19-01224).

Введение. В последнее время всё более широкое распространение получают нержавеющие стали, легированные азотом, обладающие более высокими прочностными и эксплуатационными характеристиками [1–5].

Азот повышает способность к деформационному упрочнению и существенно увеличивает стойкость металла сопротивляться распространению трещин в процессе разрушения, износостойкость.

Чаще всего азот используют для легирования аустенитных и аустенитно-ферритных коррозионно-стойких сталей. За рубежом он нашел некоторое применение и в высокохромистых мартенситных сталях [6, 7]. При равном суммарном содержании элементов внедрения (азота и углерода), прочность азотистых сталей с мартенситной структурой выше, чем у углеродсодержащих.

Однако увеличение прочности таких сталей с повышенным содержанием азота сопровождается существенным ухудшением их деформируемости.

Дополнительное повышение прочности азотсодержащих сталей может обеспечить процесс дисперсионного твердения с выделением избыточных фаз из пересыщенного азотом твёрдого раствора при термической обработке.

Одним из таких методов является легирование сталей бором [8–11]. Однако влияние бора может быть различным в зависимости от структуры стали, его содержания и термической обработки.

Выполненными ранее исследованиями установлено положительное влияние боридных соединений на эксплуатационные свойства мартенситностареющей стали [12, 13]. В то же время совместное влияние комплекса соединений азота и бора на свойства сталей не изучено. В связи с этим в работе исследовано нитридно-боридное упрочнение хромистых сталей с мартенситной структурой, отличающихся комбинацией, соотношением и концентрацией легирующих элементов.

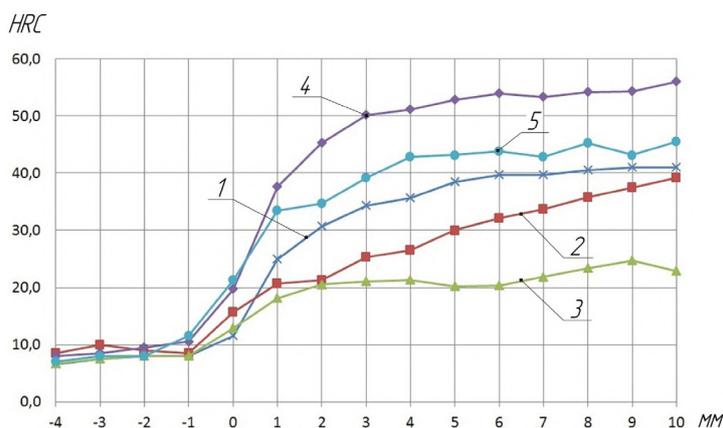
Объекты и методы исследований. Исследовали влияние нитридно-боридного упрочнения на структуру, свойства и фазовый состав хромистой стали X15, полученной наплавкой порошковой проволокой, в состав которой введены нитрид бора, диборид титана и диборид циркония в различных соотношениях и концентрациях. Расчетные составы порошковых проволок приведены в табл. 1.

Исследовали наплавленный металл следующих систем:

— высокохромистая низкоуглеродистая сталь X15 (состав № 1);

Расчетные химические составы разрабатываемых порошковых проволок

Состав	Количественный состав порошковой проволоки, %					
	Cr	BN	TiB ₂	ZrB ₂	Na ₂ SiF ₆	Fe порошок
1	15	—	—	—	0,3	10
2	15	—	2,5	1	0,3	4,5
3	15	—	4	1,6	0,3	1,0
4	15	0,5	1,25	0,5	0,3	5,5
5	15	1	2,5	1	0,3	1,0



1 — состав № 1; 2 — состав № 2; 3 — состав № 3;
4 — состав № 4; 5 — состав № 5

Рис. 1. Распределение твердости металла по сечению покрытий после наплавки

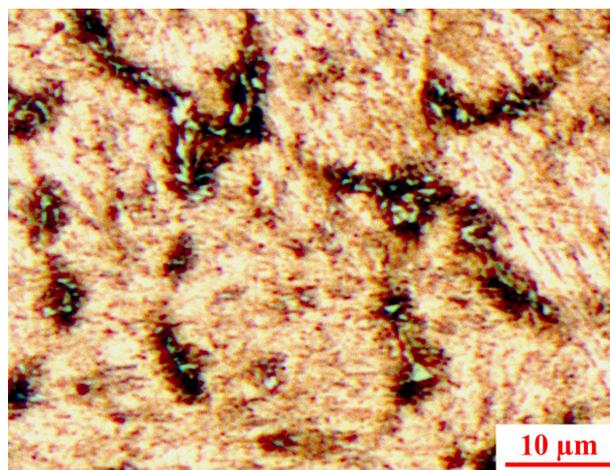
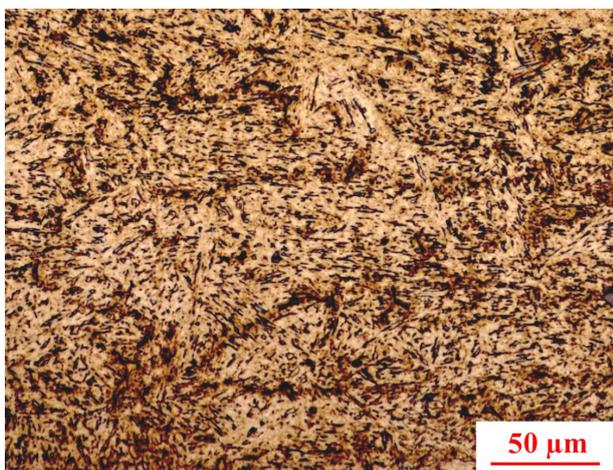


Рис. 2. Микроструктура металла, наплавленного порошковой проволокой состава № 1

— высокохромистая низкоуглеродистая сталь X15, легированная диборидом титана и диборидом циркония (составы № 2 и № 3);

— высокохромистая низкоуглеродистая сталь X15, легированная нитридом бора, диборидом титана и диборидом циркония (составы № 4 и № 5).

В качестве оболочки использовали стальную ленту марки 08 кп размером 15×0,8 мм по ГОСТ 503-81.

Введение в шихту хрома в количестве 15 % обеспечивает получение в наплавленном металле мартенситной структуры, обладающей достаточно высокой коррозионной стойкостью, характерной для сталей 20X13. Введение кремнефтористого натрия в состав порошковой проволоки позволяет уменьшить опасность образования пор в наплавленном металле.

Наплавку осуществляли на пластины из стали Ст3 размером 200×50×10 мм опытными порошковыми проволоками диаметром 2,4 мм в аргоне в три слоя. Режим наплавки: сила тока 230 А; напряжение 24 В; скорость наплавки 20 м/ч. Исследовался металл в состоянии наплавки.

Металлографические исследования наплавленного металла проводили на оптическом микроскопе AXIO Observer A1m (Carl Zeiss). Микроструктура выявлялась химическим травлением в реактиве состава: CuSO_4 — 4 г; HCl — 20 мл; H_2O — 20 мл.

Электронно-микроскопические исследования проводили на растровом электронном микроскопе JEOL JSM-6610-LV с приставкой Inca-350 энергодисперсионного анализа.

ДюрOMETрические исследования проводили на образцах из металла после наплавки с помощью твердомеров ТК-2 по методу Роквелла и Shimadzu HNV-2 по методу Виккерса.

Результаты и обсуждение. Результаты исследования твердости металла по поперечному сечению покрытий после наплавки для образцов исследуемых составов приведены на рис. 1.

Для выявления причин различий в твердости исследуемых составов покрытий проведены металлографические и электронно-микроскопические исследования.

Микроструктуры нелегированного высокохромистого металла (состав № 1) и металла показавшего наилучшие результаты по твердости (состав № 4) приведены на рис. 2 и 3.

Результаты растровой электронной микроскопии сравниваемых составов металла покрытий приведены на рис. 4.

Полученные данные дюрOMETрических исследований показывают, что нелегированный высокохромистый металл (состав № 1) имеет твердость во втором — третьем слоях около 40 HRC. Введение в его состав диборида титана и диборида циркония в больших концентрациях (состав № 3) приводит к существенному снижению твердости до 20–24 HRC. Введение в наплавленный металл этих соединений в меньших количествах (состав № 2) несколько повышает твердость после наплавки до 40 HRC. Введение в наплавленный металл комплекса: нитрид бора, диборид титана и диборид циркония в больших концентрациях (состав № 5) повышает твердость после наплавки до 45 HRC. Наилучшие результаты показал металл, наплавленный порошковой проволокой с комплексом нитрид бора, диборид титана и диборид циркония (состав № 4) со средней концентрацией. Такой металл после наплавки имеет твердость начиная со второго слоя 52–57 HRC.

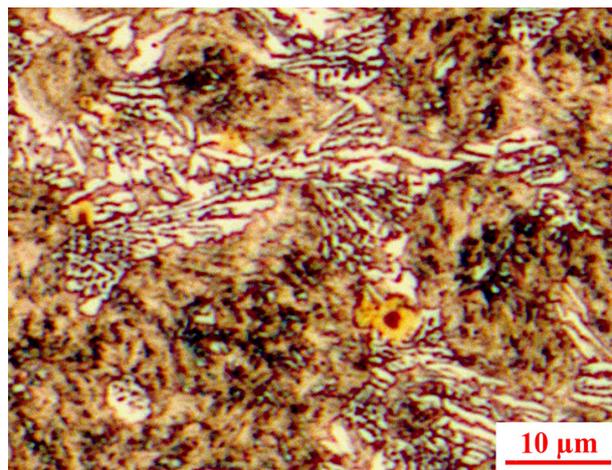
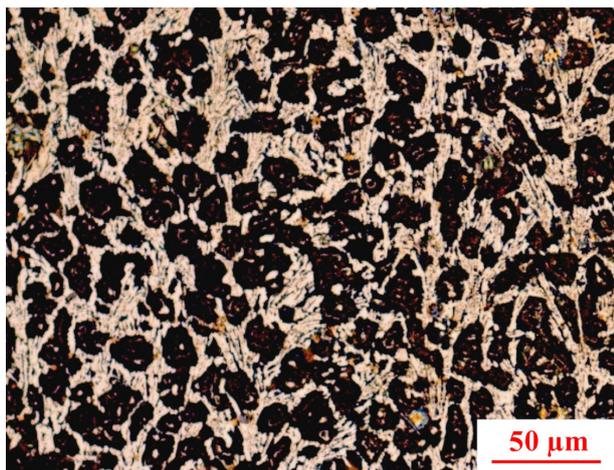


Рис. 3. Микроструктура металла, наплавленного порошковой проволокой состава № 4

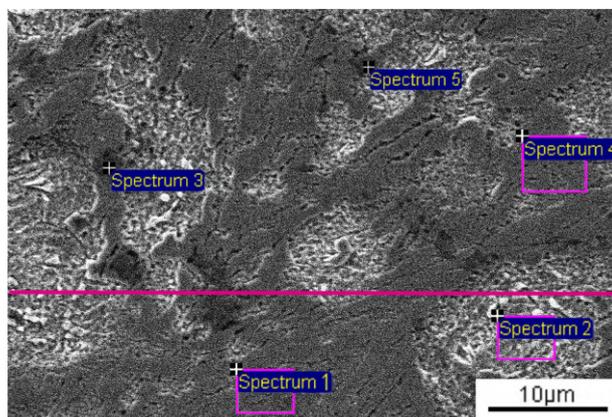


Рис. 4а. Растровая электронная микроскопия структуры металла, наплавленного порошковой проволокой состава № 4: изображение микроструктуры с расположением областей сканирования

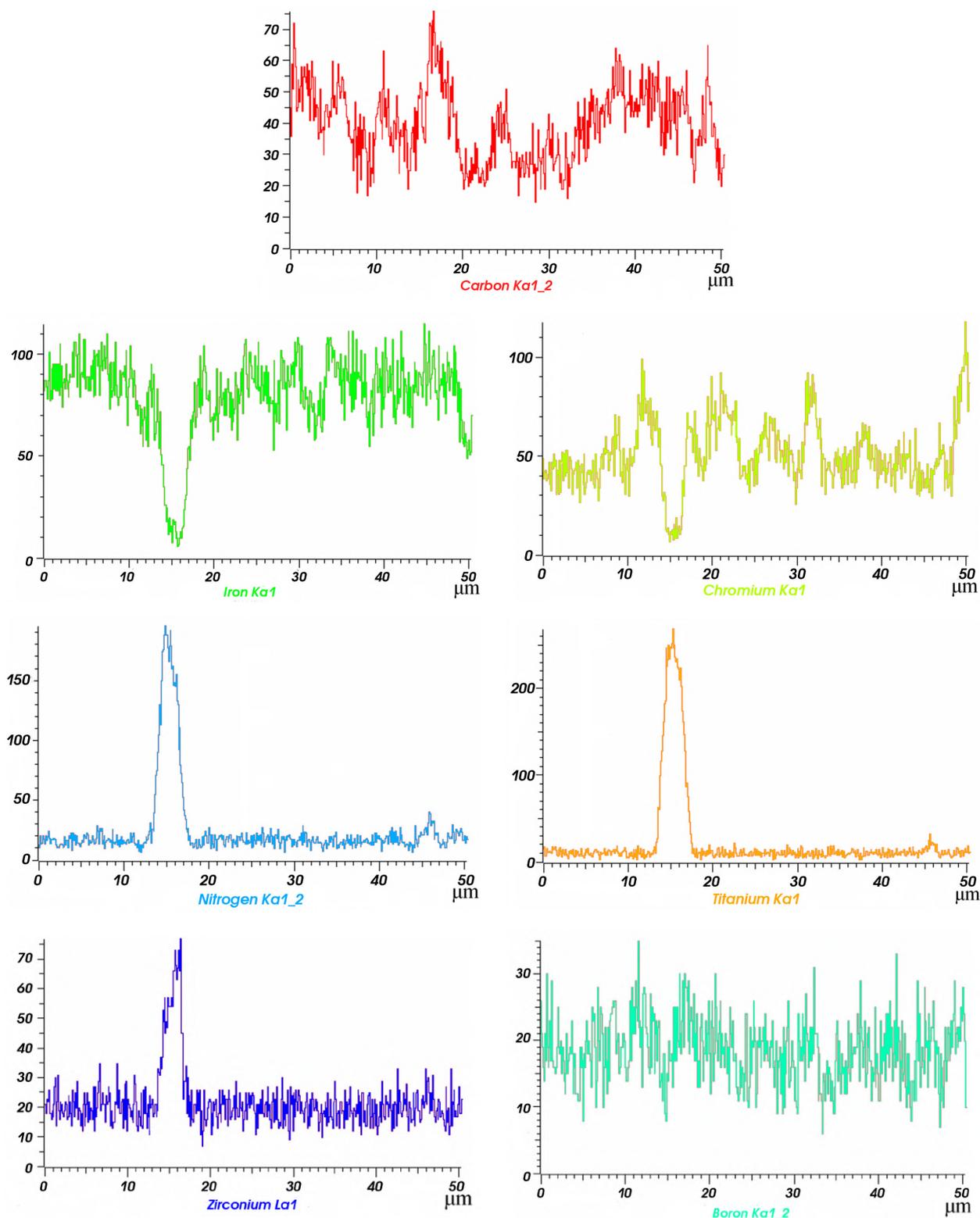


Рис. 46. Растровая электронная микроскопия структуры металла, наплавленного порошковой проволокой состава № 4: распределение элементов вдоль линии сканирования

В результате металлографических исследований установлено, что микроструктура металла, наплавленного проволокой состава № 1, представляет собой смесь феррита и низкоуглеродистого мартенсита (рис. 2). По границам зерен наблюдается скопление карбидов, по-видимому, хрома и δ -феррита с частицами σ -фазы. Такая смешанная структура и обеспечивает твердость в пределах 40 HRC. Микроструктура металла, наплавленного

проволокой состава № 2, представляет собой ферритно-перлитную смесь с твердым раствором боридной эвтектики большой протяженности. Металл с такой структурой имеет невысокие значения твердости до 30 HRC. Микроструктура металла, наплавленного проволокой состава № 3, отличается от предыдущей увеличением количества эвтектики, что приводит к ещё большему снижению твердости такого металла. В металле, полученном наплавкой

Химический состав областей покрытия наплавленного порошковой проволокой состава № 4

Спектр	B, %	N, %	C, %	Cr, %	Fe, %	Ti, %	Zr, %
1	18,55	0	13,22	17,26	50,97	0	0
2	0	0	17,55	12,21	70,24	0	0
3	0	14,65	18,39	8,86	36,24	18,59	3,27
4	16,08	0	11,81	18,51	53,60	0	0
5	0	13,18	15,45	6,35	49,82	14,56	0,64

проволокой состава № 5, наблюдается очень большое количество сложной эвтектики. При этом ферритная матрица существенно обедняется хромом, который переходит в эвтектику, что обуславливает твердость наплавленного металла около 45 HRC. Металл, наплавленный проволокой состава № 4, показавший наилучшие результаты, имеет сложную мартенситную композиционную структуру (рис. 3), твердость которой достигает 57 HRC.

Электронно-микроскопический анализ покрытия наплавленного проволокой состава № 4 показал, что такой металл представляет собой перенасыщенный легирующими элементами α -твердый раствор с развитой и замкнутой эвтектикой. Его структура характеризуется большим количеством, особой морфологией и химическим составом эвтектики и промежуточных фаз (рис. 4а).

Согласно данным энергодисперсионного анализа, отражающим количественное распределение элементов вдоль отрезка прямой линии в виде концентрационных спектрограмм (рис. 4б) и спектров локального точечного анализа (табл. 2), следует, что структура металла состава № 4 представляет собой железо-хромистую мартенситную матрицу с эвтектической составляющей, образованной на базе борида $(Fe, Cr)_2B$, имеющего скелетообразный характер.

Данная боридная эвтектика характеризуется микротвердостью 900–1050 HV и большим количеством дисперсных включений карбонитридов типа $(Fe, Ti, Cr, Zr)CN$ размером от 0,5 мкм до 2,5 мкм. Высокое содержание углерода в исследуемых спектральных областях поверхности наплавленного покрытия объясняется их науглероживанием в процессе энергодисперсионного анализа, что усложняет точное определение химического состава образованных структур и дисперсных фаз.

Выполненные исследования показали, что введение в состав высокохромистой порошковой проволоки нитрида бора, диборида титана и диборида циркония позволяет получить новый наплавленный металл композиционного типа. Такой металл обладает повышенной твердостью, которая обеспечивается комплексным упрочнением за счет образования в мартенситной матрице карбонитридных и карбоборидных фаз. Кроме того, в структуре наплавленного металла появляется карбоборидная эвтектика, которая, располагаясь в виде каркаса между кристаллами мартенсита, воспринимает часть нагрузки контактного взаимодействия и рассредоточивает ее на большую площадь поверхности, что увеличивает стойкость против задиранья наплавленного металла, работающего в условиях истирания. Вместе с этим цирконий и титан образуют мелкодисперс-

ные труднорастворимые высокопрочные нитриды, способствующие увеличению износостойкости наплавленного металла, повышая его вязкость и снижая хрупкость.

Заключение. Таким образом, введение в состав высокохромистой порошковой проволоки комплекса боридных соединений позволяет получать наплавленный металл композиционного типа. Образование в таком металле мартенситно-ферритной матрицы с уменьшенным средним размером фрагментов структуры, возникающих вследствие выделения дисперсных боридно-нитридных фаз, обуславливает высокие показатели твердости и износостойкости покрытий.

Библиографический список

1. Шлямнев А. П. Азотсодержащие нержавеющие стали — структура, свойства, перспективы производства и применения // Проблемы чёрной металлургии и материаловедения. 2007. № 1. С. 53–60.
2. Шпайдель М. О. Новые азотсодержащие аустенитные нержавеющие стали с высокими прочностью и пластичностью // Металловедение и термическая обработка металлов. 2005. № 11 (605). С. 9–13.
3. Капуткина Л. М., Прокошкина В. Г., Свяжин А. Г. Влияние высокотемпературной термомеханической обработки на механические свойства конструкционных азотсодержащих сталей // Металловедение и термическая обработка металлов. 2010. № 7. С. 46–49.
4. Костина М. В., Банных О. А., Блинов В. М. Хромистые коррозионностойкие стали, легированные азотом, новый класс конструкционных сталей // Технология металлов. 2000. № 10. С. 2–12.
5. Бабаскин Ю. З., Шипицын С. Я., Кирчу И. Ф. [и др.]. Конструкционные и специальные литейные стали с карбонитридным упрочнением // Литейное производство. 2003. № 8. С. 32–38.
6. Horovitz M. B., Benduce Neto F., Garbogini A. Nitrogen Bearing Martensitic Stainless Steels: Microstructure and Properties // Iron Steel Inst. Jap. Inter. 1996. Vol. 36, no. 7. P. 738–745. DOI: 10.2355/isijinternational.36.840.
7. Simmons J. W. High-nitrogen alloying of stainless steels // Microstructural sci. 1994. Vol. 21. P. 33–39.
8. He L., Liu Y., Li J., Li B. Effects of hot rolling and titanium content on the microstructure and mechanical properties of high boron Fe–B alloys // Materials and Design. 2012. Vol. 36. P. 88–93. DOI: 10.1016/j.matdes.2011.10.043.
9. Liu Y., Li B., Li J. et al. Effect of titanium on the ductilization of Fe–B alloys with high boron content // Materials Letters. 2010. Vol. 64. Issue 11. P. 1299–1301. DOI: 10.1016/j.matlet.2010.03.013.
10. Лякишев Н. П., Плинер Ю. Л., Лаппо С. И. Борсодержащие стали и сплавы. М.: Металлургия, 1986. 190 с.

11. Арнаутова М. Б., Бекетов А. Р., Арнаутв Б. В., Ожегов В. В. Влияние бора на структуру и свойства литой аустенитной стали 25X8Г8Т // Литейщик России. 2007. № 5. С. 38–43.
12. Yeregin Y. N., Losev A. S. Mechanical Properties and Thermal Stability a Maraging Steel With Borides, Deposited with a Flux-Cored Wire // Welding International. 2014. Vol. 28. Issue 6. P. 465–468. DOI: 10.1080/09507116.2013.840041.
13. Eremin E. N. Using boride compounds in flux-cored wires for depositing maraging steel // Welding International. 2013. Vol. 27. Issue 2. P. 144–146. DOI: 10.1080/09507116.2012.695546.

ЕРЕМИН Евгений Николаевич, доктор технических наук, профессор (Россия), заведующий кафедрой «Машиностроение и материаловедение», директор машиностроительного института Омского государственного технического университета (ОмГТУ).

ЛОСЕВ Александр Сергеевич, старший преподаватель кафедры «Машиностроение и материаловедение» ОмГТУ.

БОРОДИХИН Сергей Александрович, ассистент кафедры «Машиностроение и материаловедение» ОмГТУ.

ИВЛЕВ Константин Евгеньевич, младший научный сотрудник комплексного научно-исследовательского отдела региональных проблем Омского научного центра СО РАН.

МАТАЛАСОВА Арина Евгеньевна, студентка гр. С-131 машиностроительного института ОмГТУ.

ПОНОМАРЕВ Иван Андреевич, студент гр. С-131 машиностроительного института ОмГТУ.

Адрес для переписки: weld_techn@mail.ru

Статья поступила в редакцию 01.08.2017 г.

© Е. Н. Еремин, А. С. Лосев, С. А. Бородихин, К. Е. Ивлев, А. Е. Маталасова, И. А. Пономарев

Книжная полка

Бельков, В. Н. Основы конструирования деталей и сборочных единиц машин : учеб. электрон. изд. локального распространения : учеб. пособие / В. Н. Бельков, Н. В. Захарова. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2017. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

Пособие по структуре, содержанию и методике ориентировано на выполнение курсового проекта по дисциплине «Детали машин и основы конструирования». Содержат справочные таблицы и данные на основе нормативных документов, принятых в практике конструирования. В пособие включены материалы по расчету и конструированию деталей и сборочных единиц машин с использованием системы автоматизированного проектирования машин АРМ WinMachine и КОМПАС-3D V8. Учебный материал изложен в форме, наиболее удобной при изучении и конструировании деталей и сборочных единиц машин. Для лучшего усвоения приведены примеры выполнения отдельных видов расчетов.

Балакин, П. Д. Элементы теории реальных механических систем : моногр. / П. Д. Балакин. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2016. – 270 с.

В монографии представлены результаты научных исследований в области механики машин, проводимых на кафедре машиноведения ОмГТУ под руководством автора. Показано, что ослабление единого влияния реальных параметров систем может быть достигнуто при реализации авторского принципа конструирования, в основу которого положен прием наделения механических систем свойством адаптации. Представляет интерес для работников конструкторских бюро и проектных организаций, научно-педагогических сотрудников вузов, аспирантов, магистрантов и студентов, обучающихся по механико-машиностроительным направлениям профессиональной подготовки.

Бишутин, С. Технология машиностроения : учеб. и практикум / С. Бишутин [и др.] ; под. ред. А. Тотая. – М. : Юрайт, 2016. – 240 с. – ISBN 978-5-9916-5434-0.

В учебнике представлены все основные разделы курса, обеспечивающие подготовку обучающихся к освоению отраслевых технологий обрабатывающих производств. Даны понятия и определения производственного процесса и характеристика машиностроительного производства, принципы проектирования технологических процессов сборки и их размерно-точностной анализ. Изложены теория базирования заготовок и причины возникновения погрешностей при обработке заготовок. Выделены основные направления технологического обеспечения качества поверхностного слоя деталей машин и способы улучшения их эксплуатационных свойств. Описаны вопросы проектирования процессов обработки для различных типов производств, способы их нормирования и оценки себестоимости изготовления продукции. Рассмотрены конкретные примеры расчетов, сформулированы задачи для самостоятельного решения и контрольные вопросы.

Для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования, обучающихся по направлениям: «Автоматизация технологических процессов и производств», «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», «Энергетическое машиностроение», «Техносферная безопасность», «Управление качеством».