



It is shown that application of zinc antifriction alloys instead of bronze for production of heavy-loaded bearing remains quite actual problem as the cost of zinc is considerably lower than cost of copper.

Ф. И. РУДНИЦКИЙ, М. И. КУРБАТОВ, БНТУ

УДК 669.252

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИНКОВЫХ АНТИФРИКЦИОННЫХ СПЛАВОВ ВЗАМЕН БРОНЗ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТЯЖЕЛО-НАГРУЖЕННЫХ ВКЛАДЫШЕЙ ПОДШИПНИКОВ

В Республике Беларусь в настоящее время весьма актуальной является проблема максимального сбережения сырья и энергии всех видов как в общественном секторе, так и в промышленности. Для выпуска и реализации конкурентоспособной продукции на мировых рынках необходимо принимать меры по резкому снижению энергозатрат, материалоемкости выпускаемой продукции и рациональному использованию материальных ресурсов во всех областях промышленности страны, применению местных видов сырья.

Для решения данной проблемы необходимым представляется внедрение новейших технологий и организации на их основе малоотходного и безотходного принципа производства, реализация которого сводит энергопотребление и материальные затраты в производстве к минимуму.

Республика Беларусь в связи с уникальными геологическими особенностями строения почв обладает большими запасами торфа, который является в дополнение к прочим качествам также ценным энергетическим сырьем. В стране эксплуатируется 32 торфобрикетных предприятия, на которых производится около 1,2 млн. т топливных брикетов, призванных обеспечить топливом около 30 тыс. коммунально-бытовых предприятий (сельские школы, больницы, детские сады и другие потребители) и более 1 млн. индивидуальных владельцев домов и квартир.

Оборудование торфобрикетных предприятий представляет собой важнейшую часть основных фондов топливной промышленности Республики Беларусь. Наиболее сложным и дорогостоящим оборудованием являются торфобрикетные прессы типа Б8232, выпущенные Рязанским АО «Пресс» (Россия) в 1975–1980 гг., общее количество которых составляет 128 шт. Имеющийся парк прессов изношен более чем на 60%. Наибольшему

износу подвергаются детали кривошипно-шатунного механизма, испытывающие при работе переменные напряжения изгиба и кручения от действия силы прессования. Это, прежде всего, коленчатые и приводные валы, подшипники скольжения и качения, шатуны, гнезда станины для опор коленчатого и приводного валов. Особенно в сложных условиях работают вкладыши подшипников скольжения, являющиеся основными сменными узлами, изготавливаемые из бронз различных составов (БрОФ 10-1, БрАЖ 9-4Л, БрОЦС 5-5-5): действие больших циклических знакопеременных нагрузок, тепловое и изнашивающее воздействие в паре «бронза–сталь» с наличием элементов абразивного характера перерабатываемого торфа [1]. Следует добавить и значительную степень изношенности шеек коленчатых валов, снижающую срок службы вкладышей, различную зольность и другие свойства торфа в разных регионах страны. Все это предъявляет повышенные требования к выбору состава бронз, технологии их плавления и обработки.

В период существования СССР сменные узлы прессов поставлялись централизованно по кооперированным поставкам АО «Пресс» или другими специализированными предприятиями. В настоящее время возможности поставок осложнились простоями предприятий, финансовыми и материальными проблемами, высокой стоимостью бронз и работ по изготовлению из них вкладышей, транспортными расходами и др.

В связи с этим на кафедре «Машины и технология литейного производства» в рамках программы «Ресурсосбережение» в течение ряда лет проводятся работы по оптимизации составов антифрикционных сплавов и разработке технологий их получения, предназначенных в первую очередь для использования в топливной промыш-

ленности страны. В результате проведенных работ созданы и реализованы технологии получения бронзовых вкладышей подшипников с использованием при выплавке вторичных материалов, биметаллических сталебаббитовых вкладышей. Поскольку весьма актуальной остается задача удешевления сменных вкладышей тяжело нагруженных подшипников брикетующих прессов и снижения себестоимости торфобрикета, целью исследований, которые проводятся в настоящее время, является создание условий для использования цинковых антифрикционных сплавов взамен бронз. Несмотря на временные колебания цен в сторону увеличения, рыночная стоимость цинка остается все же значительно ниже меди. К тому же изначально в исследованиях поставлена задача широкого использования в технологическом процессе изготовления вкладышей вторичных цинк-содержащих металлоотходов.

При проведении работ принимали во внимание, что в современном машиностроении вообще ко всем антифрикционным материалам с каждым годом предъявляются все более высокие требования, обусловленные сильной динамикой развития всего машиностроительного, металлообрабатывающего, горнодобывающего и сельскохозяйственного комплекса. Из этого следует, что при разработке новых антифрикционных материалов необходимо учесть все сложности условий эксплуатации подшипников скольжения, к которым относятся большие циклические знакопеременные нагрузки, тепловое и изнашивающее воздействие в паре трения с наличием элементов абразивного характера. Для работы в таких условиях разрабатываемый материал должен обладать максимальной износостойкостью, хорошей прирабатываемостью, достаточной механической прочностью и пластичностью, коррозионной стойкостью и отсутствием схватывания в паре трения.

Сплавы цинка относятся к легкоплавким. Основными легирующими элементами являются Al, Cu и Mg, содержание которых может достигать соответственно 19–21, 14–16 и 0,03–0,06 мас.%, наиболее вредные примеси – свинец, железо, кадмий, олово, вызывающие межкристаллитную коррозию. В цинковых сплавах их суммарное содержание не должно превышать 0,001–0,05%. Сплавы цинка технологичны при плавке, заливке, обработке давлением и резанием. В зависимости от состава и назначения их подразделяют на деформируемые, литейные, антифрикционные, припой, типографские и протекторные [2].

Деформируемые цинковые сплавы содержат до 13–17% Al, 4,5–5% Cu и 0,05% Mg. Основа структуры деформируемых сплавов цинка – твердый раствор легирующих элементов в цинке, имеющий гексагональную плотноупакованную решетку. Предел прочности – 300–480 МПа, относительное удлинение – 8–30%, твердость по Бринеллю HB – 75–115, механические свойства сплавов цинка подобны латуням.

Литейные цинковые сплавы содержат 3,5–4,3% Al, 0,6–3,5% Cu и 0,03–0,06% Mg. В структуре, помимо твердого раствора на основе цинка, присутствуют различные эвтектические составляющие. Отличаются узким интервалом кристаллизации, высокой жидкотекучестью – в расплавленном виде хорошо заполняют литейную форму, не взаимодействуют с металлом пресс-формы и камеры прессования, что позволяет получать точные по размерам и сложные по форме отливки с тонкими стенками, поверхность которых не требует обработки. Изделия из этих сплавов получают главным образом литьем под давлением, реже – литьем в металлические или песчаные формы.

Антифрикционные цинковые сплавы содержат 9–12% Al, 1,0–5,5% Cu и 0,03–0,06% Mg, в структуре – мягкую (твердый раствор на основе алюминия) и твердую (твердый раствор на основе цинка и CuZn_3) составляющие, обеспечивающие соответствующую прирабатываемость подшипника к шейке вала и низкий коэффициент трения (0,009). По сравнению с оловянистыми бронзами и свинцовистыми баббитами имеют более высокий коэффициент термического расширения. Получают методами литья и обработки давлением. Используют в качестве моно- и биметаллических вкладышей. Химический состав и механические свойства цинковых сплавов приведены в табл. 1, 2.

Известные антифрикционные сплавы на основе цинка широко используются для изготовления различных подшипников скольжения, в том числе и высокоскоростных. Однако они не применимы для тяжело нагруженных подшипников, каковыми являются подшипники торфобрикетных прессов (шатунные и коренные), вследствие невысокой прочности. Поэтому для повышения прочности цинковых сплавов в их составе увеличено содержание алюминия. Микроструктуры сплавов с различным содержанием алюминия показаны на рис. 1.

Таблица 1. Химический состав цинковых сплавов (ГОСТ 25140–93)

Марка сплава	Содержание основных элементов, мас. доля, %				
	Al	Cu	Mg	Fe	Zn
ЦА4	3,5–4,5	–	0,02–0,06	–	остальное
ЦА4М1	3,5–4,5	0,7–1,3	0,02–0,06	–	остальное
ЦА4М3	3,5–4,5	2,5–3,7	0,02–0,06	–	остальное
ЦА8М1	7,1–8,9	0,70–1,40	0,01–0,06	–	остальное
ЦА30М5	28,5–32,1	3,8–5,6	0,01–0,08	0,01–0,5	остальное

Таблица 2. Механические свойства цинковых сплавов

Марка сплава	Способ литья	Механические свойства, не менее		
		σ_B , МПа	δ , %	НВ
ЦА4	Д	256	1,8	70
ЦА4М1	К	215	1,0	80
	Д	270	1,7	80
ЦА4М3	Д	290	1,5	90
ЦА8М1	К	235	1,5	70
	Д	270	1,5	90
ЦА30М5	К	435	8,0	115
	Д	370	1,0	115

Примечание: Д – литье под давлением; К – литье в кокиль.

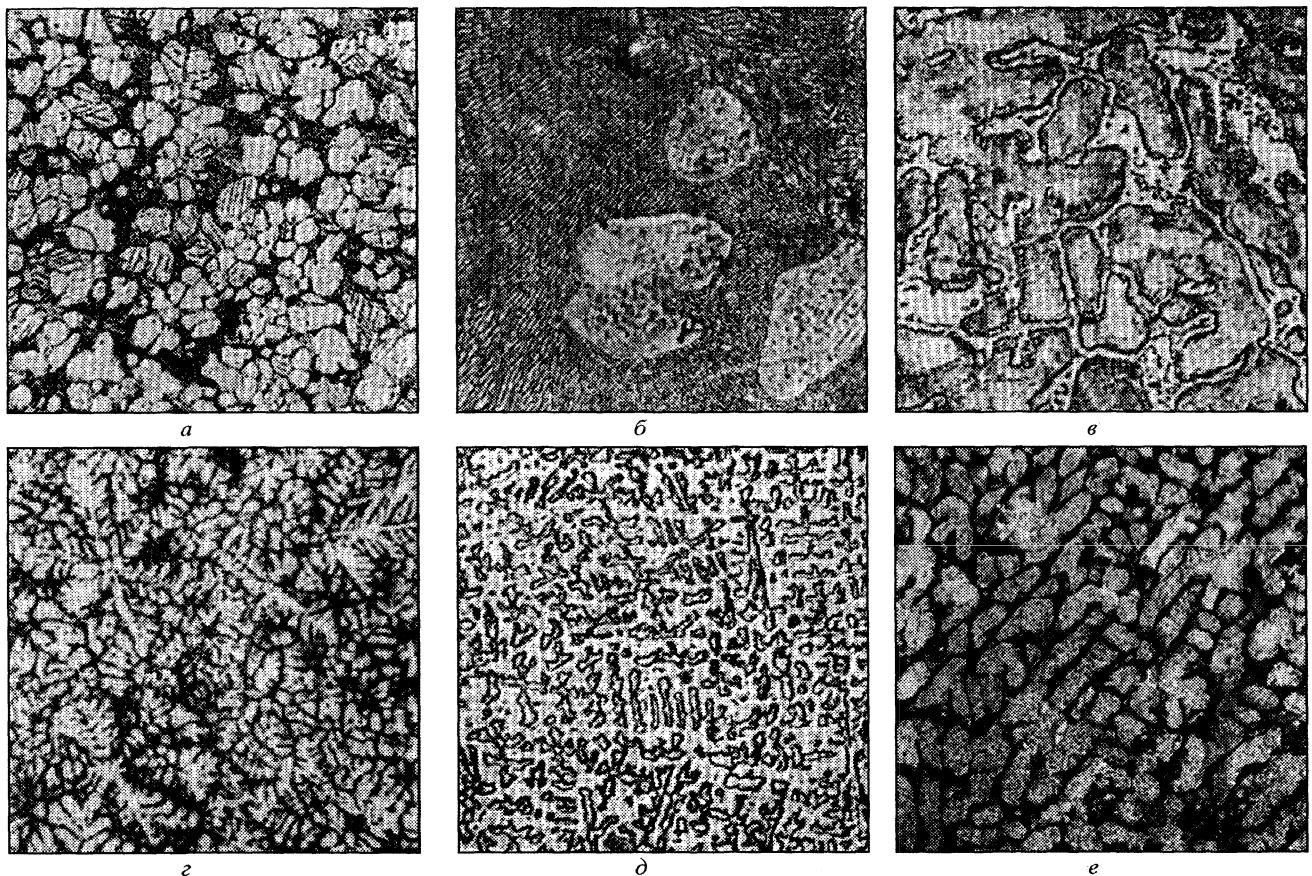


Рис. 1. Микроструктуры исследуемых сплавов: а – 1,5% Al; б – 4% Al; в – 15% Al; з – 25%Al; д – БрОФ 10-1; е – разработанный сплав. а, в, д, е – $\times 100$; б – $\times 1000$; з – $\times 50$

В результате проведенных исследований разработан высокоалюминиевый цинковый сплав для литья в кокиль и разовые песчаные формы, имеющий по сравнению со сплавами типа ЦА10М5, ЦА30М5 лучшие прочностные свойства при 100 и 150 °С, меньшие горячеломкость и усадку, большую стабильность размеров. Основные свойства сплава при литье в кокиль: прочность (σ_B) – 420 МПа, $\sigma_{0,2}$ – 360 МПа, относительное удлинение (δ) – 2%, твердость (НВ) – 130, плотность (ρ) – 4850 кг/м³, интервал температур плавления – 380–500 °С, усадка (ϵ) – 0,9%, горячеломкость – 13 мм, стабильность размеров – 0,2%.

В качестве вторичных цинксодержащих материалов для переплава использовали стружку, получаемую при механической обработке отливок, лом карбюраторов, фурнитуру и другие низкокачественные отходы предприятия «Вторресурсы» (шлак, всплески, облой и др.). Переплав осуществляли в тигельной печи электросопротивления (вместимость тигля – 300 кг; мощность – 42 кВт, температура металла – до 800 °С). В качестве плавильной емкости использовали чугунный тигель толщиной 35 мм.

Стружка и низкокачественные отходы, применяемые для переплава, сортировали, не допуская

попадания железа, свинца, олова, кадмия. Содержание влаги и масла ограничивали до 6%. Более высокое содержание остатков жидкости повышает газовыделение и снижает производительность плавки. Температура плавки стружки составляла 460–480 °С, для ускорения процесса ее повышали до 500–600 °С. Перед разливкой температуру металла понижали до 460–500 °С. Для отделения от жидкого металла шлаков и оксидов в качестве флюса использовали хлористый аммоний (0,2–0,4% металлозавалки).

При применении хлористого аммония шлак, выделяющийся на поверхности сплава, был хлопьевидным, рассыпчатым, черного цвета, легко удалялся шумовкой. Для улучшения раскисления металла и отделения шлака рекомендуется периодически перемешивать металл с флюсом. Отходы и стружку для уменьшения содержания влаги подсушивали при 80–100 °С (8–10 ч). Расплавленный металл заливали в изложницы и использовали в дальнейшем для приготовления антифрикционных сплавов требуемого химического состава.

Для изготовления антифрикционного сплава в чугунный тигель печи сопротивления загружали $\frac{2}{3}$ необходимой по составу шихты, выплавленной из лома чушки, алюминий и медноалюминиевую лигатуру состава 50% меди и 50% алюминия. Поверхность шихты засыпали слоем древесного угля и нагревали до полного расплавления, не перегревая металл. После полного расплавления сплав перемешивали и при температуре 440–450 °С добавляли оставшуюся $\frac{1}{3}$ чушки, после чего расплав перемешивали, снимали уголь и шлак и разливали непосредственно в форму или на стальное основание. Для рафинирования сплава перед разливкой использовали хлористый аммоний, который с помощью колокольчика вводили в расплав и выдерживали определенное время до прекращения удаления пузырьков. Для модифицирования расплава использовали специальные модифицирующие элементы. Полученную в виде втулки отливку обрабатывали и из нее, разрезая, изготавливали два вкладыша подшипника скольжения (рис. 2).

Предложенная технология предусматривает изготовление как монометаллических, так и биметаллических вкладышей. Для заливки биметаллического вкладыша стальную основу обезжировали 10%-ным раствором едкого натра и промывали в горячей воде. Затем стальное основание нагревали до 150 °С, все щели стенда обмазывали глиняной замазкой и производили заливку при 440–450 °С.

С целью увеличения срока службы вкладышей подшипников в процессе плавки непосредственно в расплав вводили антифрикционный наполнитель для создания эффекта самосмазывания. Самосмазывание – свойство пары трения

образовать между валом и подшипником противозадирные смазочные слои за счет смазывающих веществ, помещенных в теле подшипника (вала) [3]. В процессе трения на ювенильную поверхность выходят отдельные объемы – микровключения смазочного материала, которые натирают смазочную пленку. Проявление эффекта самосмазывания у таких подшипников зависит от оптимального соотношения размеров пор, зазора, качественных характеристик жидкости и смазочных материалов – испаряемости, термоокислительной стабильности. Микроструктуры исследуемых образцов сплавов с различным содержанием антифрикционного наполнителя показаны на рис. 4. Оптимальное содержание антифрикционного наполнителя, установленное в результате трибологических испытаний, на машине трения составило 0,3–0,4%.

При сборке шатунных вкладышей для обеспечения их устойчивой работы необходимо выдерживать требуемые зазоры в паре “вкладыш–коленчатый вал”. В соответствии с требованиями конструкторской документации на шатунный вкладыш и коленчатый вал оптимальные зазоры в соединении обеспечиваются при соблюдении следующих размеров: диаметр шейки вала – $450_{-0,223}^{-0,068}$ мм;

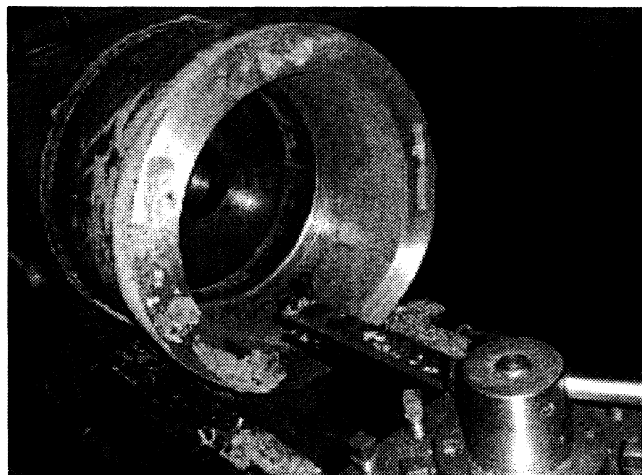


Рис. 2. Монометаллическая втулка

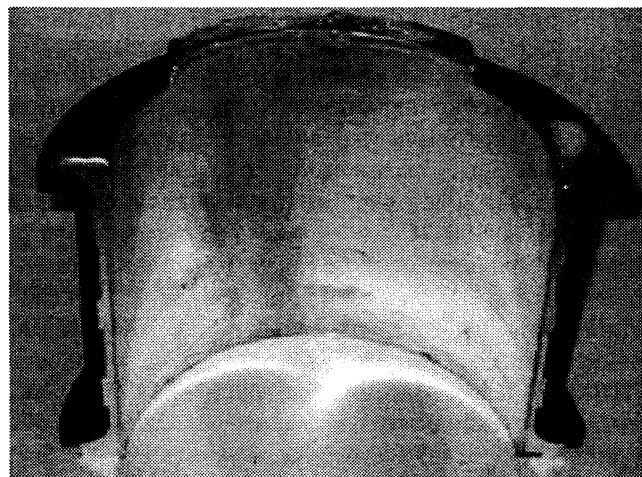


Рис. 3. Биметаллический вкладыш

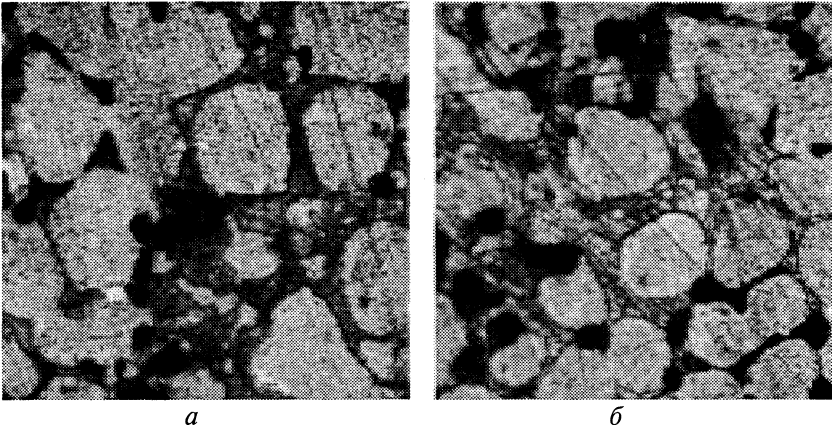


Рис. 4. Микроструктура экспериментального сплава, отлитого в песчаную форму, с различным содержанием антифрикционного наполнителя: *a* – 0,1%; *б* – 0,4%. $\times 1000$

диаметр отверстия вкладыша – $450^{+0,155}$ мм. Поскольку шейки валов, как правило, имеют некоторый износ, то при сборке шатунных вкладышей требуется их индивидуальная подгонка, которая достигается шабрением внутренней поверхности вкладыша. Если эта операция выполнена некачественно, то в сопрягаемых поверхностях уменьшается площадь контакта, при приработке вкладыша под нагрузку начинает увеличиваться радиальный зазор, снижается давление масла в подшипнике, что вызывает ускоренный износ вкладышей. Учитывая, что цинковые сплавы подвержены значительным изменениям размеров в результате естественного старения, для обеспечения необходимых зазоров при разработке технологии изготовления вкладышей особое внимание уделено термической обработке отливок. Оптимальный режим отжига шатунных вкладышей пресса Б8232 для стабилизации размеров – $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 8 ч.

К достоинствам разработанных антифрикционных сплавов на основе цинка следует отнести высокую технологичность при литье и обработке, хорошую прирабатываемость и невысокую (с учетом плотности примерно в 2 раза) себестоимость изготовления изделий при механических свойствах, близких к свойствам бронзы ОЦС 5-5-5. Особенно важным также является возможность использования в технологическом процессе приготовления сплавов вторичных материалов: стружки цинковых сплавов, получаемой при механической обработке отливок, и низкокачественных отходов. Это позволяет реализовать безотходный принцип производства, сократить материальные затраты на изготовление новой продукции. Результаты предварительных промышленных испытаний показали, что по эксплуатационной стойкости вкладыши подшипников скольжения из цинковых антифрикционных сплавов не уступают бронзовым. Технология их изготовления внедряется в условиях РУТП «Ганцевичское» концерна «Белтопгаз».

Литература

1. Булышко М.Г., Петровский Е.Е. Технология торфобрикетного производства. М.: Недра, 1968.
2. Колачев Б.А., Елагин В.И., Ливанов В.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. М.: МИСИС, 1999.
3. Иванова Е.М., Смуругов В.А., Биран В.В., Сенаторов А.Н. К механизму самосмазывания при трении политэтрафторэтилена // Трение и износ. 2003. №5. С. 541–543.