

4. Эволюция параметров механики разрушения в окрестности отверстия при малоциклового усталости по данным моделирования трещины узкими надрезами/ С.И. Елеонский, Ю.Г. Матвиенко, В.С. Писарев, А.В. Чернов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2020. – Т.86. – №9. – С. 52–62.
5. Покровский А.М. Оценка живучести растянутой пластины с поперечной полуэллиптической трещиной / А.М. Покровский, А.С. Чермошнцева // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2014. – № 3 (648). – С. 42–46.
6. Branco R. Finite element modelling and analysis of crack shape evolution in mode-I fatigue middle cracked tension specimens / R. Branco, F.V. Antunes // Engineering fracture mechanics. – 2008. – V. 75 (10). – P. 3020–3037.
7. Misak H.E. Crack growth behavior of 7075-T6 under biaxial tension–tension fatigue / H.E. Misak, V.Y. Perel, V. Sabelkin, S. Mall // International journal of fatigue. – 2013. – V. 55. – P. 158–165.
8. Кольцун Ю.И. Механика концентрации напряжений в окрестности фронта нераспространяющейся усталостной трещины / Ю.И. Кольцун // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Физико-математические науки. – 2004. – № 30. – С. 41–54.
9. Добровольский Д.С. Влияние надрезов стержней на коэффициенты интенсивности напряжений кольцевых трещин / Д.С. Добровольский // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. – 2016. – Т.19. – № 2 (70). – С. 6–8.

ЭФФЕКТ КОВКИ С ПЕРЕМЕННОЙ ОСИ ОСАЖИВАНИЯ НА СТРУКТУРУ СПЕЧЁННОГО СПЛАВА Al-7Fe-38Sn

Н.М. Русин¹, к.т.н., с.н.с., А.Л. Скоренцев^{1,2,а}, к.т.н., н.с., В.Е. Лихарев^{1,2}, лаборант
¹Институт физики прочности и материаловедения СО РАН
634055, г. Томск, пр. Академический 2/4, тел. 89234170795
²Томский политехнический университет
634050, г. Томск пр. Ленина 30, тел. (3822)-12-34-56
E-mail: "skoralexan@mail.ru"

Аннотация: Исследована структура и определены механические свойства спечённого антифрикционно-го композита на алюминиевой основе Al-7Fe-38Sn до и после его пластической обработки давлением. Установлено, что двукратное прессование образцов по технологии «abc»-ковки при 250–350 °С существенно повышает их прочность и пластичность. Улучшение механических свойств обусловлено измельчением агломератов твёрдых алюминидов железа и более равномерным их распределением по объёму материала.

Ключевые слова: ковка с переменной оси осаживания, алюмоматричный композит, спекание, структура.

Abstract: The structure of sintered aluminum-based Al-7Fe-38Sn composites for antifriction purposes has been studied, and their mechanical properties have been determined. It has been established that the treatment of sintered samples by double pressing using the «abc»-forging technology at 250–350 °C significantly increases their strength and plasticity. The improvement of mechanical properties is due to the fragmentation of agglomerates of hard iron aluminides and their more uniform distribution over the volume of the material.

Keyword: «abc»-forging, aluminum matrix composite, sintering, structure.

Введение. Сплавы системы Al-Sn обладают хорошими антизадириными и антикоррозионными свойствами и могли бы использоваться при изготовлении подшипников скольжения в качестве альтернативных бронзе материалов. Величина давления их схватывания растёт с увеличением содержания олова вплоть до 50 % вес. [1, 2], однако на практике его весовая концентрация не превышает 20 % (ГОСТ 14113–78), поскольку более высокое содержание олова сильно снижает несущую способность сплавов. Для её повышения сплавы легируют твёрдыми частицами, прочно сидящими в алюминиевой матрице, типа кремния. Но поскольку олово плохо смачивает такие частицы, то его содержание в сплаве стараются минимизировать, тогда как для поддержания свойства самосмазывания у дисперсно-упрочнённых Al-Sn сплавов концентрация олова должна оставаться высокой. Это можно сделать, если твёрдые плохо смачиваемые твёрдые частицы заменить аналогичными, но смачиваемыми добавками. Например, для этого можно использовать алюминиды переходных металлов типа Al₃Fe, имеющих сродство с Al матрицей и смачиваемые жидким оловом.

С этой целью в работе [3] смеси элементарных порошков Al, Sn и Fe подвергали спеканию, в процессе которого алюминий реагировал с железом, образуя на месте исходных порошинок кластеры из мелких сцементированных оловом алюминидов Al₃Fe.

При их образовании объёмная доля твёрдых частиц в матрице возросла примерно в 4 раза, однако эффективность их воздействия на прочность и износостойкость композиционного материала ограничивалась из-за того, что частицы были собраны в скопления, а не равномерно распределены по объёму материала. Образовавшиеся агломераты оказались прочными структурными элементами и не деформировались под влиянием простых методов воздействия протекающих с низким гидростатическим давлением. Например, при свободной осадке образцов пластическая деформация локализовалась в промежутках между агломератами, а последние смещались как целое.

В этой связи была поставлена задача исследовать особенности пластического течения и определить механические свойства спечённых композитов состава Al-Sn-Fe при воздействии на них интенсивными методами деформирования.

Материалы и методика эксперимента. Смесь элементарных порошков Al марки АСД-4, Sn марки ПО2 и Fe марки ПЖ-4 смешивалась в конусном смесителе. Смесь содержала, % вес.: олова – 38, железа – 7, остальное – алюминий. Прессовки имели размеры 20x20x10 мм и спекались в вакуумной печи при температуре 620 °С в течение 1 часа. Затем образцы подвергались ковке с переменной осью осаживания. Схема прессования приведена на рис. 1. Температура прессования составляла 250–350 °С.

Спечённые и обработанные образцы испытывали на сжатие (ГОСТ 25.503–97) со скоростью осадки 0,5 мм/мин на машине Instron-1185. Торцы сжимаемых образцов смазывались смесью мазута с графитом. Шлифы для изучения структуры композитов готовили по обычной методике: шлифование на наждачной бумаге с убыванием размера абразивных частиц, затем полирование на сукне с нанесённой алмазной пастой с частицами размером менее 1 мкм. Травление полированной поверхности проводили 4-% раствором азотной кислоты в этиловом спирте. Для исследования структуры применялись оптический AXIOVERT-200MAT и электронный сканирующий LEO EVO 50 (Zeiss, Германия) микроскопы, предоставленные ЦКП «НАНОТЕХ» ИФПМ СО РАН.

Результаты и их обсуждение. На рисунке 2 приведена структура прессовок до и после спекания. Видно, что в сырых прессовках порошинки олова и железа практически не имели общих границ и были разделены тонким слоем алюминия (тёмная фаза). Однако после спекания структура композита кардинально изменилась: на месте железных порошинок образовались агломераты из мелких частиц Al_3Fe с тонкими оловянными прослойками между ними. Прослойки олова также отделяли агломераты от алюминиевой матрицы. Рентгеноструктурный анализ показал, что спечённый композит содержит 3 фазы: α -Al, β -Sn и алюминид железа Al_3Fe . Объёмная доля алюминидов железа составила около 17 %. При комнатной температуре взаимная растворимость компонентов фаз практически отсутствует, и композит представляет собой смесь невзаимодействующих фаз, связанных адгезионными силами.

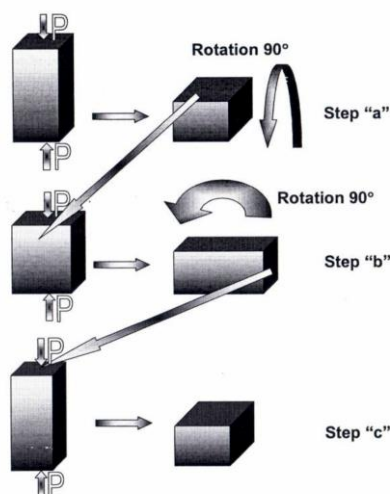


Рис. 1. Схема «abc»-ковки [4]

С тем, чтобы сохранить поперечные размеры спечённых образцов их обжатие осуществлялось в той же пресс-форме, что и прессование смеси. Поскольку пористость спечённых образцов составляла около 7 %, то соответственно изменилась их толщина в результате обжатия. После столь малой деформации структура спечённых образцов практически не изменилась, однако поры заполнились материалом, и улучшилось качество межфазных границ. Механические свойства допрессованного при 250 °С композита приведены на рис. 3.

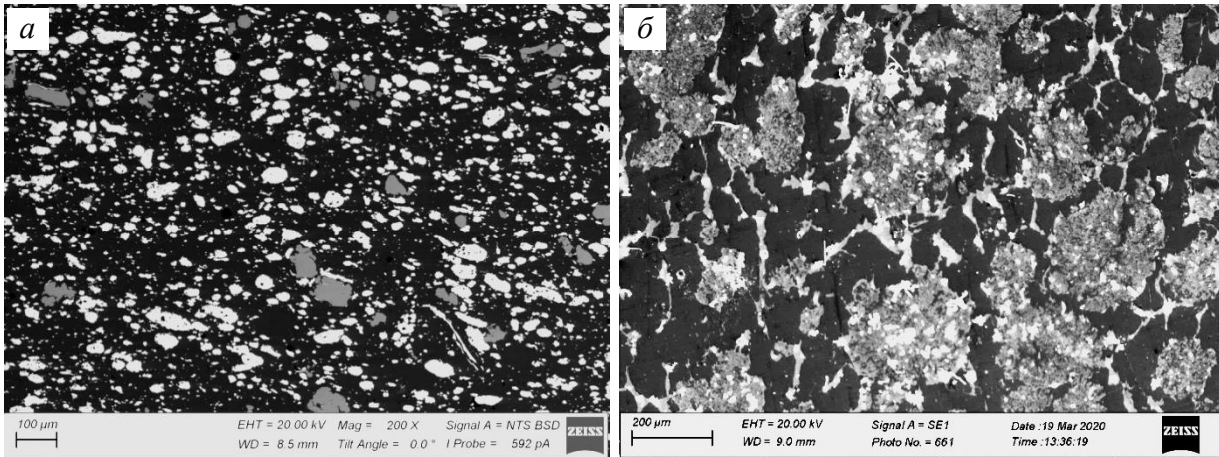


Рис. 2. Структура композита Al-7Fe-38Sn до (а) и после (б) спекания

Из представленных графиков « σ – ϵ » видно, что простое обжатие образцов в закрытой пресс-форме способствовало повышению их прочности примерно с 90 до 120 МПа. Однако пластичность материала при этом несколько ухудшается, во время испытания образцов на сжатие их прочность после осадки на 20 % начинает медленно снижаться из-за появления микротрещин на границах фаз. Обусловлено это, по-видимому, наложением действующих при испытании напряжений на существующие напряжения между фазами, вызванные разностью коэффициентов их термического расширения и быстрым охлаждением образцов после уплотнения в закрытой пресс-форме [5, 6]. В пользу этого предположения говорит и тот факт, что прочность обработанных ковкой образцов также снижается после сжатия их на ~ 6 %. Меньшая чем после доуплотнения пластичность прокованных при 250 °С образцов, объясняется в этом случае дополнительным вкладом деформационного упрочнения Al матрицы в упругие напряжения, действующие на границах фаз. Однако более длительное нахождение образцов при высокой температуре способствует снятию части межфазных напряжений, и откованный при 320 °С образец демонстрирует не только высокую прочность, но и пластичность при испытаниях на сжатие (рис. 3).

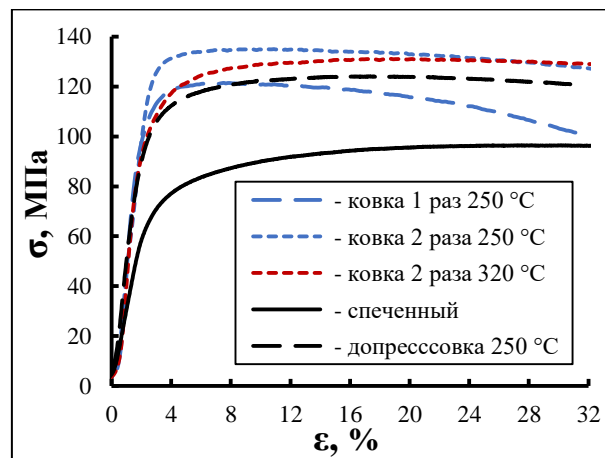


Рис. 3. Влияние обработки давлением на механические свойства спечённого композита Al-7Fe-38Sn

Положительное влияние высокотемпературнойковки с переменной оси осаживания на механические свойства композита Al-7Fe-38Sn сопровождается изменениями в микроструктуре исходного композита (рис. 4). Во-первых, агломераты растягиваются в направлении течения материала, и составляющие их твёрдые частицы рассредоточиваются, а во-вторых, частицы алюминидов измельчаются тем сильнее, чем выше температура абс-ковки. Оба этих фактора положительно сказываются на увеличении пластичности спечённых образцов из исследуемого сплава. При этом, как следует из рис. 3, температура 250 °С оказывается недостаточной, чтобы осуществлялось измельчение алюминидов железа. Возможно, что их измельчению способствует ослабление твёрдых частиц вследствие проникновения эвтектической жидкости по границам зёрен (эффект Ребиндера).

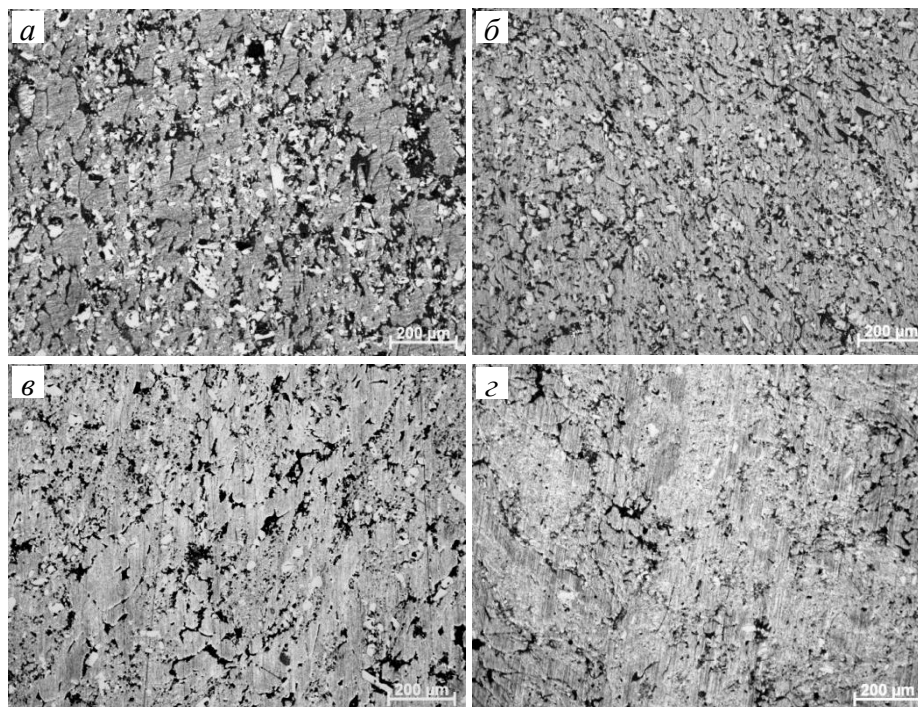


Рис. 4. Структура композита Al-7Fe-38Sn в плоскости течения материала после «abc»-ковки при температуре, °С: а, б – 250, в – 300, г – 350. Число ковок: 1 – а, 2 – б-г. Направление течения материала образца – по вертикали

Заключение. По результатам работы можно сделать вывод, что дополнительная обработка спечённого композита Al-7Fe-38Sn методом механического обжатия образцов в закрытой пресс-форме при 250 °С способствует существенному повышению их прочности. Двукратная ковка с переменной оси осаживания уплотнённых образцов при указанной температуре и выше дополнительно повышает прочность композита.

Работа выполнена в рамках реализации проекта РНФ № 23-29-00669.

Список использованных источников:

1. Bushe N.A. Effect of aluminum-alloy composition on self-lubrication of frictional surfaces/ N.A. Bushe, I.G. Goryacheva, Y.Y. Makhovskaya // *Wear*. – 2003. – V. 254. – P. 1276–1280.
2. Mironov A.E. Influence of tin on the tribotechnical properties of complex antifriction aluminum alloys / A.E. Mironov, I.S. Gershman, E.I. Gershman // *Journal of Friction and Wear*. – 2018. – V. 39. – P. 394–399.
3. Rusin N.M. Special features of structure formation in a composite due to sintering a mixture of elementary powders of Al, Fe and Sn / N.M. Rusin, A.L. Skorentsev // *Metal Science and Heat Treatment*. – 2022. – V. 63. – P. 552–557.
4. Субмикроструктурная структура и физико-механические свойства технического титана / С.П. Малышева [и др.] // *Физика и техника высоких давлений*. – 2002. – Т. 12. – С. 66–75.

5. Медведев П.Н. Анализ пространственного распределения трещин в жаропрочном никелевом сплаве, изготовленном по технологии СЛС / П.Н. Медведев, А.И. Гуляев // *Авиационные материалы и технологии*. – 2020. – № 1. – С. 12–18.
6. Влияние параметров процесса селективного лазерного сплавления на структуру алюминиевого сплава системы Al-Si-Mg / Н.В. Дынин, А.В. Заводов, М.С. Оглодков [и др.] // *Труды ВИАМ*. – 2017. – № 10. – С. 3–14.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПЛАВКИ СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК СОВРЕМЕННЫМИ МЕТОДАМИ

*Н.М. Саидмахаматов¹, доц., Д.В. Валув^{3а}, к.т.н., доц., К.Х. Абдуллаев² доц.,
Н.Х. Тажиев², ст. преподаватель*

*¹Ташкентский государственный технический университет
700095, Узбекистан, г. Ташкент, ул. Университетская, 2*

*²Наманганский инженерно-строительный институт
160100, Узбекистан, Наманганская область, г. Наманган, ул. Ислама Каримова, 12*

³Юргинский технологический институт (филиал)

*Национального исследовательского Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл. – Кузбасс, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

E-mail : ^avaluev@tpi.ru

Аннотация: В этой статье описываются результаты исследования четырёх образцов с введением различного количества алюминиевого сплава в расплав при плавке стали. Основной задачей является повышение жидкотекучести стали и, наряду с этим, Fe восстановлен из FeO. А также, в целях уменьшения неметаллических включений и газовых раковин в стали, после плавки в электродуговой печи произведена внепечная обработка расплава. В итоге уменьшены вредные элементы в стали. А также произведена плавка стали без неметаллических включений и газовых раковин.

Ключевые слова: сталь, железо, неметалл, шихта, электродуговая печь, газовая раковина, ковш, футеровка.

Annotation: The main goal is to increase this fluidity and balance with Fe reduced from FeO. As well as cases of detection of non-metallic inclusions and gas shells in steel, after melting in an electric arc furnace, out-of-furnace processing of the melt was carried out. Harmful elements have been significantly reduced. And also produced floating steel without non-metallic inclusions and gas shells.

Keywords: steel, iron, non-metal, charge, electric arc furnace, gas shell, ladle, lining.

Введение

В истории металлургии железа, при производстве черных металлов и повышения их качества есть три основных достижения [1]. Если первое это изобретение печи для извлечения железа из руды и его термической обработки в давние времена, то вторым считается освоенная в средние века переработка железа и чугуна, которая связана с массовым производством литой стали в середине XIX века [2].

Для производства различных деталей, оружия, инструментов и машин сталь должна обладать требуемой прочностью и твёрдостью. Поэтому для производства стали требовалась постоянная рабочая сила.

К середине XIX века в связи с развитием по всему миру отраслей промышленности и транспорта резко возросла потребность в стали. Сталь необходимо было производить в больших количествах и ассортименте. Но даже при достаточном производстве надо было решить вопрос дороговизны стали. Удешевление изделия из стали ковкой мягкого железа, ручной и механической обработкой не представлялось возможным.

В связи с возрастающей потребностью, лучшие инженеры – металлурги и учёные того времени занялись этой проблемой. Среди них самую лучшую идею решения проблемы предложил английский учёный и изобретатель Генри Бессемер. По его идее самый приемлемый путь для получения дешёвой стали – это получение жидкого металла с требуемыми свойствами для изготовления изделия или детали, с последующей заливкой в специальные формы нужной конфигурации. Но для внедрения этого метода и получения дешёвой стали потребовались десятки лет и труды многих специалистов металлургов. При внедрении идеи Г. Бессемера были сделаны ещё несколько важных изобретений и все они заняли достойное место в истории металлургии [3].