

## ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертационную работу Скоренцева Александра Леонидовича **«Разработка и исследование структуры, механических и трибологических свойств спечённых и подвергнутых равноканальному угловому прессованию композитов Al-Sn»**, представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09  
Материаловедение (машиностроение)

С целью предотвращения при сухом и граничном трении изнашивания алюминиевых сплавов схватыванием в их состав вводят добавки мягких веществ, чаще всего – олово, способных выполнять функции твёрдых смазок для подшипников скольжения в указанных условиях работы. С повышением объёмного содержания олова в алюминии, допустимая величина прикладываемого давления, при котором возникает схватывание, возрастает. Однако при этом олово разрушает прочный алюминиевый каркас, и несущая способность такого композита резко снижается из-за локализации пластического течения в прослойках мягкой второй фазы. Поэтому задача по разработке новой технологии получения композитов Al-Sn, способствующей сохранению непрерывности алюминиевой матрицы и её несущей способности при повышенном содержании в ней олова, является актуальной как в практическом, так и научном плане.

В первой части представленной на рассмотрение научной работы исследуются возможности и границы применимости обычных методов порошковой металлургии алюминия по решению поставленной задачи. Было установлено, что при использовании прессовок из смеси стандартных мелкодисперсных порошков и правильного режима их жидкофазного спекания могут быть получены композиты Al-Sn с непрерывной, сохраняющей несущую способность матрицей, объёмная доля второй фазы в которой более чем вдвое превышает содержание олова в промышленных литых сплавах данной системы. Триботехнические испытания спечённых композитов показали, что достигнутая возможность введения в состав алюминиевой матрицы дополнительного количества олова способствует снижению интенсивности их изнашивания при сухом трении как минимум на 40%.

Установлено, что спечённые композиты Al-Sn с непрерывной алюминиевой матрицей сохраняют способность к значительному деформационному упрочнению при обработке их давлением. При этом деформация распределяется по объёму спечённых образцов равномерно, без локализации её в прослойках мягкой фазы, в силу чего прочность спечённых КМ демонстрирует аддитивность не только в спечённом, но и деформированном состоянии. Обнаруженная особенность весьма полезна с практической точки зрения, поскольку позволяет априори определить прочность обработанных давлением композитов различного состава по кривым течения каждой из составляющих их фаз.

Алюминиевая матрица после спекания относительно мягкая, поэтому вторая часть диссертационной работы посвящена исследованию влияния упрочняющей ИПД обработки методом равноканального углового прессования (РКУП) на механические и трибологические свойства спечённых композитов Al-Sn.

Испытания показали, что такая обработка приводит к почти 3-кратному повышению прочности спечённых КМ Al-Sn. Одновременно, не менее чем на 15% увеличивается их сопротивление изнашиванию в условиях сухого трения по стали, и тем заметнее, чем выше приложенное давление. Таким образом, используемые меры позволяют снизить интенсивность изнашивания КМ Al-Sn более чем на 50%. Если учитывать, что расходы на устранение потерь от износа узлов трения машин и механизмов в развитых странах огромны, а подшипники на основе сплавов Al-Sn применяются достаточно широко, то можно надеяться, что разработанная диссертантом технология получения и обработки КМ с повышенной износостойкостью и достигнутые ими триботехнические показатели найдут достойную оценку и заинтересованность со стороны конструкторов различных видов техники.

Следует отметить, что диссертант не ограничился констатацией достигнутых положительных результатов, но тщательно изучил особенности пластического течения спечённых композитов при РКУП и пришёл к выводу, что течение носит равномерный характер, вследствие чего деформация распределяется по объёму образцов равномерно, и все элементы фазовой структуры испытывают равную её величину. Как следствие, было установлено, что и после ИПД обработки прочность КМ остаётся величиной аддитивной и может быть определена априори по правилу смеси.

На основе полученного вывода была разработана модель пластического формоизменения фаз в КМ Al-Sn при РКУП. В частности, полученная модель хорошо описывает эволюцию формы включений второй фазы при прессовании маршрутом А, и с её помощью можно заранее рассчитать параметры формирующейся макроструктуры в спечённых КМ Al-Sn, в том числе в плоскости течения образца. Используя данную модель, и изучив зёрненную-субзёрненную структуру Al матрицы, диссертанту удалось показать, что помимо величины интенсивности испытанной деформации, увеличение площади межфазных границ в ходе обработки композитов с мягкой второй фазой также приводит к дополнительному измельчению зёрненной структуры матрицы и соответствующему её упрочнению. Ранее данный факт в мировой научной литературе не обсуждался.

В заключение хотелось бы отметить и ещё одно существенное достижение, представленное в работе. Используя возможности РКУП по управлению макроструктурой КМ Al-Sn, диссертант показал, что её особенности также могут существенно повлиять на износостойкость самосмазывающихся композиционных материалов. А именно, было обнаружено, что КМ со слоистой структурой и тонкими матричными прослойками изнашиваются с меньшей интенсивностью, чем КМ аналогичного

состава, но более грубодисперсной матрицей, при условии, что слои фаз ориентированы перпендикулярно направлению действия силы трения. Достигнутое при такой ориентации дополнительное снижение интенсивности изнашивания самосмазывающихся композитов Al-Sn достигает 20%. Автор обосновывает такое улучшение их износостойкости подачей дополнительного количества твёрдой смазки на поверхность трения за счёт увеличения глубины деформированного подповерхностного слоя. Данный феномен в мировой литературе ранее также не обсуждался.

По совокупности достигнутых результатов считаю, что работа Скоренцева А.Л. полностью соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а сам диссертант является квалифицированным специалистом и заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 Материаловедение (машиностроение).

Научный руководитель:

Старший научный сотрудник лаборатории физики наноструктурных функциональных материалов  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, кандидат технических наук

Николай Мартемьянович Русин

Подпись Русина Н.М. заверяю,  
Учёный секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, доктор технических наук



Василий Сергеевич Плешанов