

Важнейшие результаты, полученные в 2013 г.

Разработан и изготовлен металлический полевой катод с нанокристаллической структурой, обеспечивающей наименьшую работу выхода и наибольшую плотность остриев на поверхности. Создан макет катодолюминесцентной лампы, продемонстрировавший принципиальную возможность повышения энергоэффективности в результате использования такого катода.

Для описания упрочнения и определения минимального размера зерен при интенсивной пластической деформации чистых ГЦК металлов построена феноменологическая модель, основанная на рассмотрении баланса между накоплением энергии пластической деформации и ее диссипацией в виде тепла и внутренней энергии дефектов кристаллической решетки, в первую очередь, границ зерен. Модель позволяет рассчитать средний размер зерен как функцию параметров, характеризующих процесс интенсивной деформации, а также материальных параметров образца, и описывает все основные экспериментально наблюдаемые сценарии эволюции микроструктуры металлов.

Использование линейной сварки трением позволяет получить качественное твердофазное соединение стали 20 с магнитными сплавами системы Fe-Cr-Co. При сварке трением заметного перераспределения химических элементов не происходит, а формируется градиентная структура, характеризующаяся повышением дисперсности структуры и микротвердости при переходе от стали к магнитному сплаву. Полученные данные могут быть использованы при разработке крупногабаритных составных магнитных роторов, имеющих стальную сердцевину и тонкую магнитную оболочку.

Продемонстрировано значительное увеличение пластичности и ударной вязкости ультрамелкозернистого никеля при ультразвуковой обработке с умеренными амплитудами напряжений (до 100 МПа), что объясняется релаксационным воздействием ультразвука на дефектную структуру материала. Этот эффект подобен воздействию отжига, но происходит в существенно более короткие интервалы времени (десятки секунд), что позволяет рассматривать ультразвуковую обработку как перспективный метод улучшения механических свойств ультрамелкозернистых материалов.

Разработан метод экспресс-анализа фазового состава многофазного материала, основанный на ранжировании по определенным химическим элементам данных точечных энергодисперсионных спектров. Показано, что такой подход позволяет анализировать большие объемы данных и точно идентифицировать фазы.

Сведения о других результатах, достигнутых в 2013 г.

При молекулярно-динамическом моделировании одноосного растяжения нанопленок и нановолокон сплавов NiAl и FeAl обнаружена нетипичная область упругой деформации, в которой рост деформации не сопровождается повышением растягивающего напряжения. Это поведение объясняется неоднородной деформацией, характеризующейся появлением и развитием областей с разной величиной упругой деформации. Удлинение в неустойчивой области увеличивается за счет поглощения областей с меньшей деформацией областями с большей деформацией.

Применение метода всесторонней изотермическойковки (ВИК) привело к размытию текстуры сплава Zr-2,5%Nb исходного состояния, в результате трансформации пластинчатой структуры в равноосную и последующего зернограничного

проскальзывания. После ВИК, проведенного с поэтапным снижением температуры деформации в диапазонах $(\alpha_{Zr}+\beta_{Zr})$ и $(\alpha_{Zr}+\beta_{Nb})$ - фазовых областей сплава, относительная доля специальных границ зерен, удовлетворяющих ориентационному соотношению Бюргерса, которые формируются при фазовом превращении при охлаждении слитка на стадии его получения, уменьшилась. Поэтапное снижение температуры деформации позволило сформировать однородную рекристаллизованную структуру сплава Zr-2,5%Nb со средним размером зерен 0,2 мкм.

Для сплава состава Ti-42,5Al-4Nb-1Mo-0,05V разработан недорогой термомеханический процесс, обеспечивающий эффективное измельчение структуры слитка. Подготовленный таким образом материал предположительно может быть использован для штамповки небольших деталей, например, лопаток компрессора высокого давления для ГТД в условиях сверхпластичности.

В сплавах ХН58МБЮД и Ni 718 Plus путем создания ультрамелкозернистой структуры получены рекордные характеристики сверхпластичности при пониженных температурах. В образце сплава ХН58МБЮД в состоянии с размером зерен $d=0,8$ мкм при $T=800^\circ\text{C}$ получено удлинение $\delta=1430\%$, а в образце сплава Ni 718Plus с размером зерен $d=0,3$ мкм - $\delta=1450\%$ при $T=900^\circ\text{C}$.

Установлено, что рост ограниченных монокристаллов Y123 в мелкозернистой матрице зависит от кристаллографического индекса грани монокристалла и наличия на ней макроступенек. Рост граней параллельных направлению [001] не зависит от степени совершенства поверхности: растут грани как визуально ровные, так и имеющие ступеньки. Грани перпендикулярные оси [001], напротив, растут только при наличии на них макроступенек: плоские грани неподвижны. Различие в поведении граней монокристаллов, по-видимому, связано с различным механизмом их роста.

В сплавах состава ВТ8-(0,2-2) вес.% В с помощью деформационно-термической обработки, обеспечивающей преимущественную ориентировку волокон боридов вдоль оси растяжения, можно одновременно повысить пластические и прочностные свойства сплава (в случае ВТ8-0,2В) или существенно повысить прочностные свойства в широком интервале температур при сохранении приемлемых ($\delta>3\%$) пластических свойств (в случае ВТ8-(1,5-2)В) в сравнении с матричным сплавом ВТ8.

Установлено, что совмещение структурного и дисперсионного упрочнения может приводить к значительному дополнительному повышению прочности криопрокатанного сплава Д16. При этом максимальный эффект, сопровождаемый демонстрацией сверхвысокой твердости (205-215 HV) и прочности (предел текучести до 600 МПа), обнаруживается после обработки, включающей прокатку со степенью не менее $e\sim 2,0$ и искусственное старение при $T<150^\circ\text{C}$ с выдержкой 8-16 часов.

Для ионных кристаллов со структурой NaCl с сильно отличающейся массой компонент методом молекулярной динамики показана возможность существования комплексов близко расположенных щелевых дискретных бризеров (ДБ). Показано, что ДБ, составляющие комплексы, способны обмениваться энергией, а также двигаться по кристаллу со скоростью порядка 0,1 скорости звука. Движущиеся ДБ дополняют известные каналы переноса энергии по кристаллу.

Выявлено влияние пор на механические свойства слоистых образцов, полученных сваркой давлением листовых заготовок титанового сплава ВТ6. С увеличением относительной протяженности пор наблюдается снижение сдвиговой прочности твердофазного соединения. При этом при определенной ориентации поверхностей соединения относительно распространяющейся трещины и относительной

протяженности пор ударная вязкость слоистых образцов может быть как ниже, так и выше по сравнению с ударной вязкостью беспористых образцов.

Показана принципиальная возможность снижения температуры сварки давлением до 800°C при соединении заготовок из жаропрочного никелевого сплава ЭК61 через сверхпластичную ультрамелкозернистую (УМЗ) прокладку из того же сплава с достижением прочности твердофазного соединения на уровне 50% от уровня основного материала.

Установлено, что при одноосном и двуосном сверхпластическом растяжении образцов сплава ВТ6 с исходным средним размером зерен 0,2 мкм при температурах 600 и 650°C не происходит порообразования.

Методом электроосаждения на медной и бронзовой подложке получено покрытие из тройного сплава на основе олова состава Sn13%Sb10%Cu с высокими трибологическими характеристиками. Методом PCA в покрытии впервые обнаружены фазы, соответствующие литому баббиту Б83: SnSb в количестве 45,4% и Cu₆Sn₅ – 13,7%. Потеря массы полученного сплава при трении в 4 раза меньше чем у литого баббита Б83.