

### ПРИОРИТЕТНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ Ш.18.

#### ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ; ТЕПЛОМАССОБМЕН, ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВ, НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ПЛАЗМА И ТЕХНОЛОГИИ НА ЕЕ ОСНОВЕ

##### Программа Ш.18.1. Воздействие высококонцентрированных потоков энергии на материалы для улучшения их физико-механических характеристик (координатор докт. физ.-мат. наук А. М. Оришнич)

В Институте теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича найдены законы подобия и безразмерные критические параметры, определяющие шероховатость поверхности резки низкоуглеродистой стали газовым  $\text{CO}_2$ -лазером с длиной волны 10,6 мкм и твердотельным волоконным лазером с длиной волны 1,06 мкм. На рис. 7 представлены данные экспериментов, являющиеся обобщением результатов оптимизации по трем параметрам: скорости резки, положению фокуса относительно поверхности (фактически – ширины реза) и мощности. Показана зависимость шероховатости

поверхности  $R_z/t = \Phi\left(\frac{W}{\lambda t T_m}, P_e\right)$  от безразмер-

ных параметров: числа Пекле  $Pe = V_{\text{opt}2} b_{\text{opt}2} / \gamma$  и мощности  $W/(\lambda t T_m)$ . Установлено, что для двух типов лазеров с длинами волн, различающимися в 10 раз, условия резки с минимальной шероховатостью выражаются одинаковым образом:  $Pe_{\text{opt}3} = \text{const}$ ,  $AW/(kt T_m) = \text{const}$ . Таким образом, доказано преобладание влияния газодинамических процессов течения многофазной жидко-

сти на качество лазерного реза по сравнению с процессами взаимодействия излучения с веществом. Результаты используются при создании технологических карт лазерного раскроя.

В этом же Институте создана лабораторная плазмохимическая установка и проведен цикл расчетно-экспериментальных исследований процессов высокотемпературного синтеза частиц диоксида титана ( $\text{TiO}_2$ ). В результате синтеза, осуществляемого путем конверсии тетраоксида титана в азотной или кислородной плазме в проточном реакторе плазмотрона линейного типа с межэлектродной вставкой, получены порошки  $\text{TiO}_2$ : анатазной кристаллической модификации с размерами частиц 30–60 нм, содержание чистого анатаза ~80–87 %, при загрязненности атомарным хлором ~1 %; а также рутильной кристаллической модификации с размерами частиц 150–220 нм, содержание чистого рутила ~80–95 %, при загрязненности атомарным хлором ~0,04 %.

В ходе экспериментов в азотной плазме с контролируемым подводом кислорода был синтезирован порошок диоксида титана анатазной

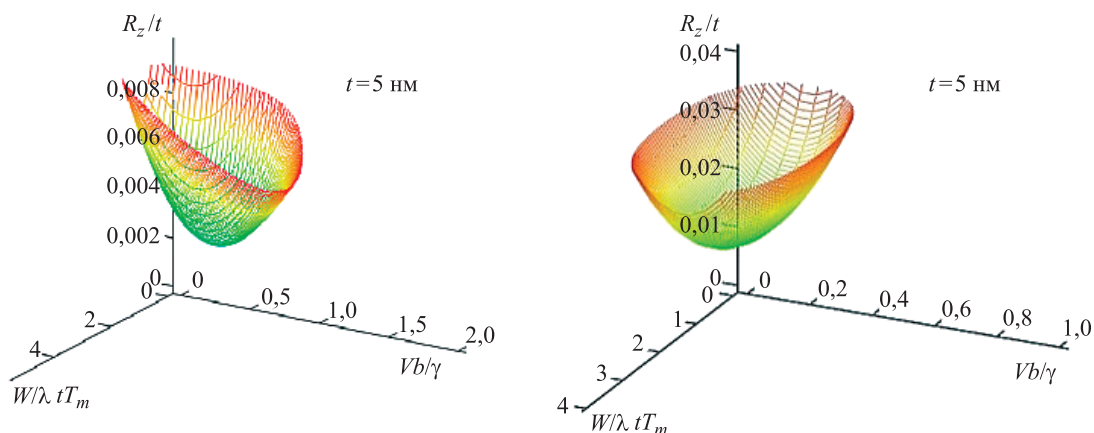
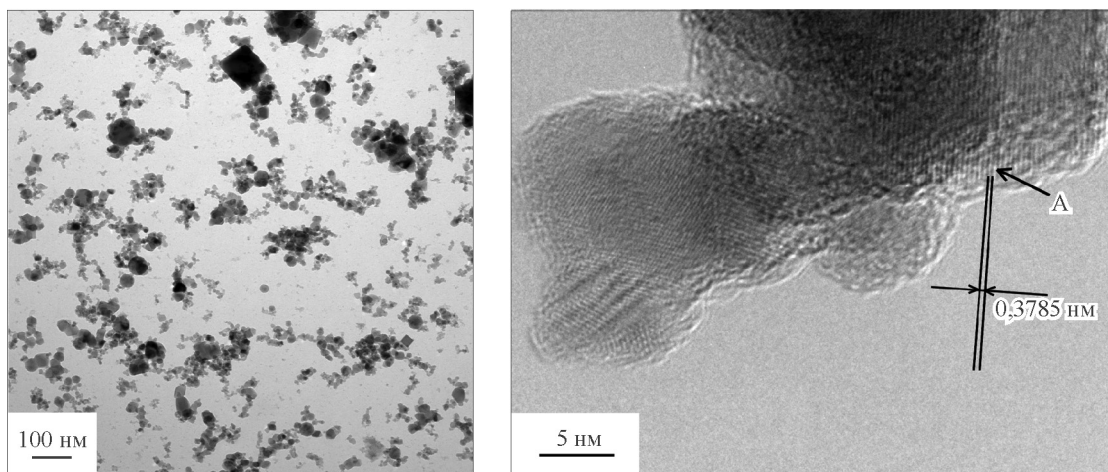


Рис. 7. Зависимость шероховатости поверхности  $R_z/t = \Phi\left(\frac{W}{\lambda t T_m}, P_e\right)$  для  $\text{CO}_2$ -лазера (слева) и волоконного лазера (справа) от безразмерных параметров: числа Пекле  $Pe = V_{\text{opt}2} b_{\text{opt}2} / \gamma$  и мощности  $W/(\lambda t T_m)$ .



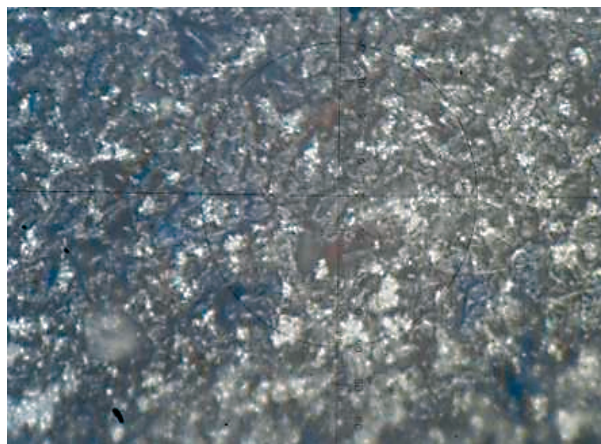
**Рис. 8.** Фотографии тонкодисперсного порошка диоксида титана анатазной кристаллической модификации, полученные с помощью просвечивающего электронного микроскопа высокого разрешения «Jeol» (НГУ).

модификации, сопоставимый по своим фотокалалитическим свойствам с порошком диоксида титана марки AEROXIDE P-25 (содержание анатаза 70–80 %, средний размер частиц 21 нм, чистота порошка >99,5 %), производимым компанией «Evonik Industries AG» в промышленных масштабах с помощью газопламенного синтеза.

Преимуществом нового подхода является низкая себестоимость получения продукта, возможность масштабирования установки, управление свойствами конечного продукта – фазовым и гранулометрическим составом порошка, и его химической чистотой. На рис. 8 представлены фотографии частиц  $TiO_2$  и его агломератов, содержание анатаза ~81 %, средний размер частиц – 34 нм. Среди крупных частиц встречаются ограненные, видна кристаллическая решетка, характерная для анатаза.

Сотрудниками Института теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиано-

вича разработана технология получения жаростойких интерметаллидных покрытий системы Ni–Co–Cr–Al–Y с аномально высокими эксплуатационными характеристиками: плотность  $\rho = 7,9 \text{ г/см}^3$ , микротвердость  $H_{\mu} = 770 \text{ кгс/мм}^2$ , пористость  $P_o = 0,6 \%$ . Для сравнения на рис. 9 и 10 представлены микроструктуры интерметаллидных покрытий на подложке, полученных на двух разных установках. На стандартной серийной установке УПУ-3Д, с плазмотроном с самоустанавливающейся длиной дуги, формируется круглозеренная структура (см. рис. 9). При этом в поперечном сечении покрытия отмечается неплотная упаковка зерен с крупными порами размером до 30 мкм и несплошностями на границах. На новой установке, с плазмотроном ПНК-50 с секционированной межэлектродной вставкой и узлом кольцевого ввода порошка с газодинамической фокусировкой, материал наносится в диспергированном состоянии, в



**Рис. 9.** Микроструктура покрытия Ni–Co–Cr–Al–Y, полученного на серийной установке УПУ-3Д.



**Рис. 10.** Микроструктура покрытия Ni–Co–Cr–Al–Y, полученного на плазмотроне ПНК-50.

виде полностью расплавленных или пластифицированных частиц, образуя покрытие с плотной и слоистой микроструктурой (см. рис. 10). Вытянутая форма зерен обусловлена высокой кинетической энергией наносимых частиц.

При этом размер пор находится в пределах 5–10 мкм, сквозная пористость отсутствует и дефектов на границе раздела подложка–покрытие в виде сколов, несплошностей и отслоений не наблюдается.

### Программа Ш.18.2. Теплофизические основы энергоэффективных технологий, включая приложения к энергетике, химической технологии, нефтегазовой промышленности и металлургии (координатор член-корр. РАН С. В. Алексеев)

В Институте теплофизики им. С. С. Кутателадзе получены экспериментальные данные по локальным и интегральным характеристикам теплообмена при кипении и выявлены различные сценарии развития кризисных явлений в стекающих пленках недогретой жидкости при нестационарном тепловыделении. Показано, что в стекающих пленках воды не реализуются механизмы кризисного распада, обусловленные возникновением и быстрым распространением самоподдерживающихся фронтов испарения, развитие которых приводит к значительному снижению критического теплового потока в нестационарных условиях. При пленочном течении развитие кризиса связано с возникновением сухих пятен в режиме уже квазистационарного кипения при достижении стационарного критического теплового потока и их последующим ростом по механизму продольной теплопроводности в теплопередающей стенке (рис. 11). Практическое значение связано с определением границ оптимальных и аварийных режимов работы различных типов теплообменников с высокой и нестационарной теплонапряженностью.

В этом же Институте разработан лазерный радиационно-безопасный измерительный комплекс для измерения геометрических параметров горячего и холодного проката ЛАД-0Р 3 (рис. 12). Комплекс предназначен для точных, бесконтактных и безопасных для персонала измерений толщины движущегося горячего ли-

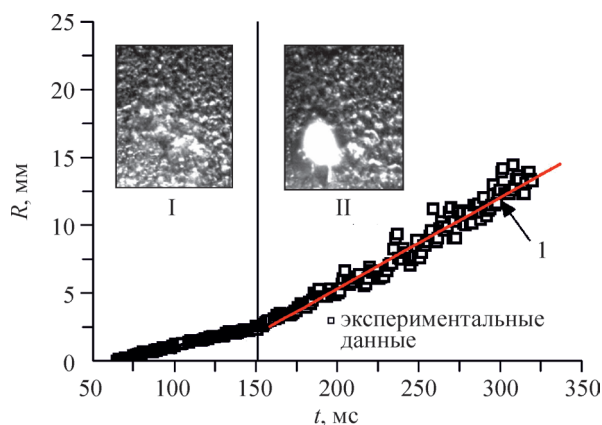


Рис. 11. Динамика роста зоны температурного возмущения при развитии кризиса при вскипании в стекающей пленке воды в условиях ступенчатого тепловыделения (высокоскоростная ИР-термография).

I – стадия формирования сухого пятна под двухфазным капельным слоем; II – развитие крупномасштабной несмоченной зоны (линия 1 – расчет).

стового проката в режиме реального времени в тяжелых условиях окружающей среды: значительные градиенты температуры на корпусе измерителя, мощное инфракрасное излучение, высокая влажность воздуха (более 90 %), а также при наличии водяного и масляного аэрозоля в зоне измерений. На измерительный комплекс ЛАД-0Р 3 оформлен сертификат соответствия и получено свидетельство об утверждении типа средств измерений. Комплекс внедрен на



Рис. 12. Внешний вид лазерного измерительного комплекса ЛАД-0Р 3 (слева) и рабочий момент – точное и бесконтактное измерение толщины горячей полосы металла (справа).

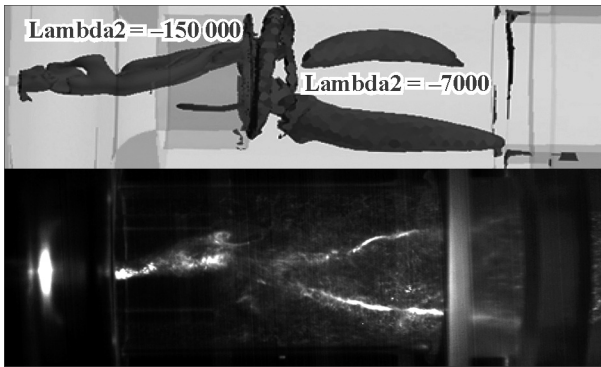


Рис. 13. Визуализация прецессирующего вихревого ядра и вторичных вихревых структур (расчет и эксперимент – стоп-кадр скоростной видеосъемки).

ОАО «Новосибирский металлургический завод им. Кузьмина» и готов к тиражированию.

В Институте теплофизики им. С. С. Кутаедадзе завершен цикл теоретических, экспериментальных и расчетных работ по моделированию вихревых течений с высокой степенью закрутки. На основе экспериментальных данных по характеристикам закрученного течения в гидродинамической вихревой камере и воздушной свободной закрученной струи, полученных с применением PIV- и LDA-техники, а также серии расчетов выбрана модель турбулентности, наиболее адекватно описывающая особенности течения и, в частности, параметры прецессирующего вихревого ядра (рис. 13). Установлено, что для инженерных расчетов лучше всего подходит гибридный метод RANS/LES (DES) с применением двузонной модели турбулентности Ментера (MSST). Те же данные были использованы для проверки ранее разработанной модели прецессирующего винтового вихря, позволяющей оценивать частоту и амплитуду пульсаций давления (рис. 14). Сравнение результатов проведенных экспериментальных исследований, расчетов и теории позволяет раз-

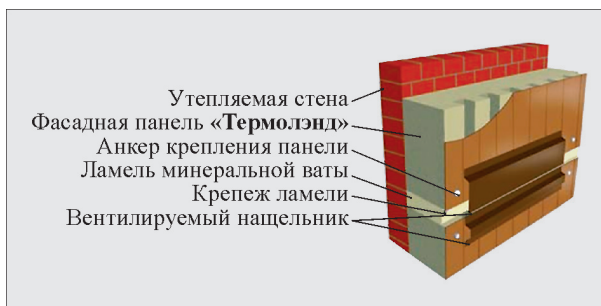


Рис. 15. Теплоизоляционная фасадная система с вентиляруемыми каналами.

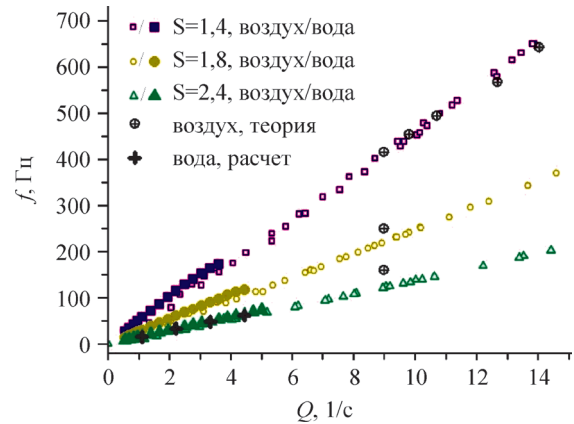


Рис. 14. Сопоставление экспериментальных частотных характеристик прецессирующего вихревого ядра для двух вихревых камер с данными численных расчетов и аналитической теории винтовых вихрей.

рабатывать высокоэффективные инженерные методики для предсказания нестационарных явлений при создании и эксплуатации устройств, использующих закрутку потока.

В этом же Институте создана новая теплоизоляционная фасадная система зданий на основе панелей с вентилируемыми каналами (рис. 15). Разработанные методики расчетов позволили определить оптимальные геометрические размеры вентилируемых каналов, обеспечивающих требуемый уровень влажности стеновых конструкций зимой и отсутствие накопления влаги в них за год. Получен патент на новую фасадную систему с вентилируемыми каналами. Данная фасадная система по сравнению с существующими обеспечивает более высокое качество, так как вся система изготавливается в заводских условиях. Отличительная особенность системы – простота и высокая скорость монтажных работ, в 4–6 раз быстрее, чем монтаж обычных вентилируемых фасадов (рис. 16). Организовано производство панелей с вентилируемыми каналами под торговой маркой «ThermoLand» на одном из предприятий в г. Новосибирск.



Рис. 16. Дом в пос. Ложок после реконструкции.