1. Название работы
2. Использование плазменных актуаторов – устройств на основе поверхностных разрядов для влияния на течение газа – началось в конце 20-го века. Пионерские работы по их применению для управления потоком относятся к началу 21 века. В плазменной аэродинамике разрабатываются методы управления потоками для снижения сопротивления, воздействия на отрыв потока и регулирование ламинарно-турбулентного перехода на обтекаемых профилях. На верхнем фотоизображении показано как УВ от поверхностного разряда взаимодействует с головной УВ перед телом, приводя к изменению режима обтекания. Ниже показаны шлирен-изображения взаимодействия оптического разряда со сверхзвуковой струей топливовоздушной смеси.

Диагностика параметров плазмы позволяет разработать способы эффективно воздействовать на поток

1. Исследование пространственно-временных распределений параметров при заданных внешних условиях позволяет выделить основные процессы, протекающие в плазме. Применение бесконтактных методов диагностики обеспечивает отсутствие внешних возмущений в процессах формирования разряда в потоках.

Набор параметров плазмы, определяемых современными диагностическими методами, включает измерение концентрации и температуры заряженных компонент, интенсивности излучения, электрического поля.

1. Целью работы было Определение параметров плазмы наносекундных разрядов, инициированных в сверхзвуковых потоках воздуха с ударными волнами, на основе обработки эмиссионных спектров, осциллограмм тока и изображений свечения с наносекундным разрешением и анализ газодинамического течения после разряда. Исследовались поверхностный скользящий разряд и комбинированный объемный разряд. На слайде показаны фотоизображения поверхностного скользящего разряда в неподвижном воздухе, в потоке с наклонной УВ и при взаимодействии с плоской УВ.
2. Экспериментальная установка состоит из ударной трубы и разрядной камеры. Сверхзвуковые потоки создавались за плоскими ударными волнами в канале ударной трубы. Синхронизация запуска разрядов с прохождением ударной волны осуществлялась от сигналов пьезодатчиков давления в канале ударной трубы, подключенных к генератору импульсов; с их помощью определялась также скорость ударных волн.

Диагностическое оборудование включало спектрометр, девятикадровую электронно – оптическую камеру, фотокамеры, шунт для регистрации тока и высокоскоростную видеокамеру.

1. Основная серия экспериментов проводилась с инициированием поверхностного скользящего разряда в сверхзвуковом потоке с наклонной ударной волной. Отдельная часть работы касалась исследования поверхностного скользящего разряда и объемного комбинированного разряда с фронтом плоской ударной волны. На слайде представлены параметры разрядов и электрическая схема.
2. Важной частью экспериментальной установки является разрядная камера, в которой на верхней и нижней стенках расположены электроды поверхностных скользящих разрядов. РАЗМЕР РАЗРЯДНОЙ ОБЛАСТИ 100 мм в направлении потока. Через кварцевые стекла камеры осуществлялась оптическая диагностика разрядов.
3. В основной серии экспериментов поток в разрядной камере был неоднородным. На нижней стенке камеры располагалось небольшое препятствие, при обтекании которого сверхзвуковым потоком устанавливалась наклонная ударная волна. На слайде представлены теневые изображения установления наклонной ударной волны после дифракции УВ на препятствии. Наклонная УВ взаимодействовала с пограничным слоем на верхней стенке. Из-за образования области пониженной плотности в области взаимодействия поверхностный разряд стягивается в узкий токовый канал шириной около 10 мм, который можно видеть на фотоизображениях.
4. Спектры излучения скользящего разряда в неподвижном воздухе и в потоке представлены на слайде. В уф области преобладают полосы второй положительной системы азота. В потоке наблюдается значительная континуальная часть спектра в области 200 – 850 нм, и интенсивные атомарные линии, что связано с высокой концентрацией электронов и значительной диссоциацией.
5. На слайде показаны идентифицированные полосы второй положительной системы азота в области от 300 до 500 нм. В видимой части спектра показаны линии атомов азота, кислорода и водорода, и атомарных ионов азота. Линии водорода Ha Hb свидетельствуют о наличие паров воды в воздухе.
6. По Штарковскому уширению линии Ha водорода и по осциллограммам тока определялась концентрация электронов. Можно отметить возрастание концентрации электронов в плазме поверхностного скользящего разряда при увеличении плотности как в неподвижном воздухе, так и в сверхзвуковых потоках с наклонной ударной волной. В потоках концентрация электронов и степень ионизации 4 раза выше, чем в неподвижном воздухе при одинаковой плотности среды.
7. По континуальной части спектра определялась энергия электронов. Отнесенный спектр сопоставлялся с нормированной теоретической зависимостью интенсивности тормозного излучения от длины волны (свободно-свободные переходы).
8. В неподвижном воздухе энергия электронов в плазме скользящего разряда растет с выходом на постоянное значение. В потоках с наклонной УВ также отмечается рост энергии электронов. Полученные энергии электронов соответствуют сильно неравновесной плазме с большим отрывом энергии электронов от энергии нейтральных молекул.
9. Приведенное электрическое поле рассчитывалось по отношению линий второй положительной системы азота и первой отрицательной системы иона азота - переходы (0-0). На графике нанесены значения приведенного электрического поля, рассчитанные по спектрам излучения разряда в неподвижном воздухе, и средние значения поля по ширине разряда. На фронте прорастающих каналов значения приведенного электрического поля выше, чем средние значения.
10. В потоках обработка спектров усложняется перекрытием линий континуальной частью спектра. Результаты измерений поля в основном получены для экспериментов, когда излучение разрядного канала было равномерным, как в случае, представленном на фотоизображении. Значения приведенного электрического поля составили 800±200 Тд в потоках и в неподвижном воздухе. Полученные значения относятся к очень сильным полям. Электроны быстро получают энергию, что объясняет высокие значения энергии электронов в плазме.
11. Длительность свечения разряда оценивалась на основе регистрации 9- кадровой электронно-оптической камерой. Слева показана съемка свечения разряда в неподвижном воздухе, справа – свечение разрядного канала в потоке с наклонной ударной волной (время экспозиции 100 нс). Время свечения в неподвижном воздухе около 1.5 мкс, в потоке - более 4 мкс.
12. На графике показаны временные зависимости интенсивности свечения, снизу нанесены соответствующие осциллограммы тока. Видно, что после окончания тока разряда наблюдается послесвечение. Время затухания свечения рассчитывалось по точкам, когда не было внешнего поля. Времена затухания в неподвижном воздухе составили 450±50 нс, в сверхзвуковых потоках – 2000±200 нс. Длительное послесвечение связано с населенностью метастабильных состояний азота и последующими реакциями, приводящими к переходам на триплетный уровень с дальнейшим излучательным переходом.
13. Анализ газодинамического течения проводился по кадрам теневой высокоскоростной съемки. Время отсчитывается от момента разряда. На первом кадре – поле течения с наклонной ударной волной до разряда. На следующих кадрах происходит взаимодействие ударно-волновой конфигурации с ударной волной от разрядного канала. Далее примерно до 100 мкс происходит восстановление структуры течения.
14. Проведен расчет концентрации и энергии электронов в плазме поверхностного скользящего разряда и комбинированного объемного разряда при взаимодействии с плоской ударной волной. В плазменной области перед фронтом ударной волны значения концентрации и энергии электронов были …
15. Основные результаты работы ~~представлены на данном слайде~~. (прочитать коротко)