

- [1] *Капчинский И.М.* Динамика частиц в линейных резонансных ускорителях. М.: Атомиздат, 1966.
- [2] *Кириштейн П.Т., Кайно Г.С., Уотерс У.Е.* Формирование электронных пучков. М.: Мир, 1970. 600 с.
- [3] *Молоковский С.И., Сушков А.Д.* Интенсивные электронные и ионные пучки. М.: Энергоатомиздат, 1991. 303 с.
- [4] *Наумов Н.Д.* Письма в ЖТФ. 1993. Вып. 1. С. 38–41.
- [5] *Наумов Н.Д.* Письма в ЖТФ. 1993. Вып. 10. С. 59–62.

01;07
© 1994 г.

Журнал технической физики, т. 64, в. 8, 1994

ТРАНСФОРМАЦИЯ ВОЛНОВОГО ПОЛЯ ПРИ ДИФРАКЦИИ КОГЕРЕНТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА НЕРЕГУЛЯРНОМ КРАЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЭКРАНА

Ю.В.Васильев, А.Е.Лукьянов

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова,
119899
(Поступило в Редакцию 5 декабря 1993 г.)

Металлические тела с прямым острым краем используются в технологии, медицине, в научных и бытовых устройствах и приборах. Типичный пример — обычное лезвие безопасной бритвы, изготовленное из стальной пластины толщиной 80–100 мкм. Угол раствора клина на краю лезвия порядка нескольких градусов. На изображениях в растровом электронном микроскопе JSM-U3 видно, что поперечный размер (толщина) заостренного края лезвия обычно менее 1 мкм и меняется вдоль него. Высота неровностей (зазубрин) этой режущей кромки также хаотически меняется в диапазоне от нескольких десятков до сотен нм. Микрофотография такого рельефа приведена в работе [1].

Один из важных показателей качества режущей кромки — вариация высоты неровностей (зазубренность края) в заданном участке длины L . Например, диаметр человеческого волоса лежит в диапазоне 10–100 мкм, но величина рабочего участка лезвия при бритье L порядка нескольких мм, т.е. одновременно срезается несколько волос. В то же время зазубренность края лезвия хорошего качества менее длины световой волны (менее 0.5 мкм), а у технического лезвия может быть более 1 мкм. Для надежной оценки качества лезвий с помощью растрового электронного микроскопа нужно получать изображения с увеличениями до 10 000 раз, т.е. с малым полем зрения, и многократно перемещать лезвие по его длине L , что резко замедляет процедуру контроля.

В настоящей работе опробован более простой метод, пригодный для оценки качества лезвия. Весь рабочий участок L освещается когерентным пучком лазерного излучения и лезвие играет роль тонкого полубесконечного металлического экрана, на краю которого происходит дифракция света. Можно подобрать такие условия эксперимента,

чтобы хаотическая нерегулярность края сказывалась на картине дифракции максимально сильно.

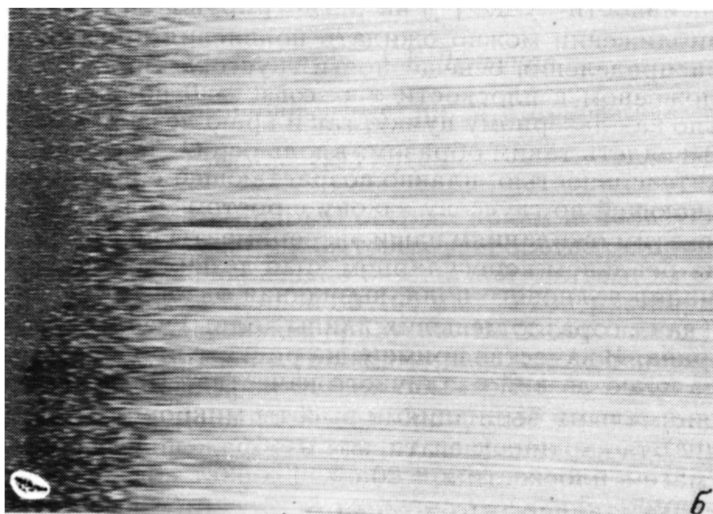
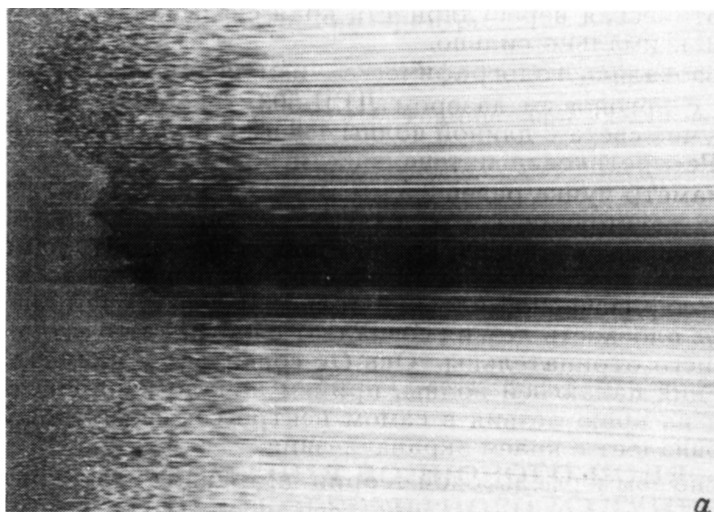
Использовалась голографическая измерительная установка типа УИГ-22М с аргоновым лазером ЛГН-503, генерирующим круглый в сечении пучок света с длиной волны 488 нм и пространственной модой TEM_{00} . Распределение интенсивности по сечению гауссово, эффективный диаметр пучка равен 2.5 мм. Пучок попадает на лезвие, закрепленное на расстоянии 2 м от излучателя, причем плоскость лезвия перпендикулярна оси пучка, край лезвия совпадает с диаметром пучка и с направлением колебаний электрического вектора в падающей линейно поляризованной плоской волне. В декартовой системе координат $Oxyz$ плоскость лезвия совпадает с плоскостью xOy и координаты x и y для него отрицательны. Ось Oz совпадает с направлением распространения падающей волны, причем начало координат (точка O) находится на краю лезвия в самом центре сечения лазерного пучка. Ось Oy совпадает с краем экрана-лезвия.

Согласно зоммерфельдовой теории дифракции [2] падающей волны, на прямом остром крае металлического экрана (с учетом гауссова профиля интенсивности пучка [3]) на регистрирующем плоском экране в первом приближении можно ожидать появления простой регулярной картины распределения освещенности гауссова типа. На таком экране, расположенном в плоскости $x = \text{const} > 0$ вблизи $z = 0$ ($z > 0$) параллельно как лазерному пучку, так и краю лезвия, картина должна была бы выглядеть таким образом: вдоль оси Oz идет сплошная яркая полоса с интенсивностью, плавно возрастающей с ростом z и одновременно убывающей по гауссову закону с ростом модуля координаты y .

Вопреки этим ожиданиям наши эксперименты показали, что при дифракции на реальном нерегулярном крае лезвия происходит сложная трансформация волнового поля, вызванная фазовыми сдвигами волны на малых (даже гораздо меньших длины волны) неоднородностях края лезвия-экрана. В качестве примера на рисунке приведены картины дифракции на краю лезвий различного качества. На рисунке, а картина для лезвия с малыми вариациями высоты микрорельефа (малая зазубренность). Эта картина (негативное изображение) регистрировалась на фотобумаге в плоскости $x = 20$ см.

На рисунке, а видно, что в области $Z < 0$ (левая часть картины) образуется нерегулярное оптическое поле в виде очень мелких, хаотически распределенных черных и белых пятнышек. Это — типичные лазерные спеклы, вызванные диффузным отражением части лазерного излучения от шероховатой поверхности лезвия вблизи острого края [4]. В правой же части рисунка, а отчетливо видно образование анизотропного оптического поля в виде очень большого выбора нигде не пересекающихся черных линий (вместо ожидавшейся равномерно изменяющейся интенсивности). В средней части картины (вблизи $y = 0$) они сгущаются в отдельные горизонтальные страты, идущие вдоль оси Oz . Дополнительные исследования показали, что это — линейные лазерные спеклы, порожденные нерегулярностью освещенного на большой длине $L = 2.5$ мм края лезвия.

Зарегистрированная трансформация волнового поля очень чувствительна к величине и характеру вариаций микрорельефа края лезвия благодаря другой (по сравнению с работой [1]) схеме регистрации



Картины дифракции лазерного излучения на краю лезвия.
а — с небольшими зазубринами края, б — технического. Негативные изображения.

картины дифракции: детектирование отраженного под прямым углом (а не прошедшего пучка) позволяет убрать “постоянную составляющую сигнала” (сильную засветку прямым лазерным пучком) и получить темнопольное изображение картины дифракции с гораздо бóльшим контрастом изображения. Эту повышенную чувствительность иллюстрирует картина дифракции на краю более грубого лезвия для технических целей (см. рисунок, б). Видно, что при увеличении степени зазубренности лезвия (высота зазубрин до нескольких мкм по данным растровой электронной микроскопии) страты на картине вблизи $y = 0$ практически полностью исчезают, тогда как отдельные линейные спеклы отчетливо видны по всему полю зрения.

Эти предварительные эксперименты показывают, что явление трансформации волнового поля при отражении лазерного когерентного излучения от края металлического экрана с нерегулярным микро-рельефом можно в принципе использовать для сравнительно быстрой диагностики качества режущего инструмента.

Список литературы

- [1] Васильев Ю.В., Козарь А.В., Курицына Е.Ф., Лукьянов А.Е. // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. Вып. 14. С. 29–32.
- [2] Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1970. 856 с.
- [3] Ландсберг Г.С. Оптика. М.: Наука, 1976. 928 с.
- [4] Франсон М. Оптика спеклов. М.: Мир, 1980. 171 с.

03; 04
© 1994 г.

Журнал технической физики, т. 64, в. 8, 1994

РЕЖИМЫ РАБОТЫ РАЗРЯДНОЙ КАМЕРЫ ЛЕГКОГАЗОВОГО УСКОРИТЕЛЯ

*А.В.Будин, В.А.Коликов, Б.П.Левченко, В.В.Леонтьев,
И.П.Макаревич, Ф.Г.Рутберг, Н.А.Широков*

Институт проблем электрофизики,
191065, Санкт-Петербург
(Поступило в Редакцию 15 декабря 1993 г.
В окончательной редакции 28 апреля 1993 г.)

Источник питания [1] — конденсаторная батарея емкостью 0.08 Ф, рабочим напряжением 10 кВ и запасаемой энергией до 4 МДж. Батарея собрана из 3000 импульсных конденсаторов и разделена на 6 секций по 500 конденсаторов, включаемых в общую разрядную цепь с помощью 6 тригатронов. Такое секционирование позволяет в определенных пределах управлять амплитудой и длительностью полного разрядного тока при фиксированных их величинах для каждой секции.

Разрядная камера (рис. 1) представляет собой толстостенный стальной сосуд, предназначенный для работы с водородом при импульсном давлении до 800 МПа. Объем камеры менялся от 500 до 1600 см³. Исследования, проведенные ранее на различных типах разрядных камер [2], показали, что наиболее оптимальной из них с точки зрения эффективности теплообмена является коаксиальная. Основной характерной особенностью процесса горения дуги в такой камере является эффект так называемого “магнитного дутья” [3]. Суть его состоит в следующем: при подаче напряжения на иницилирующую проволочку, которая занимает положение *a* (рис. 1), происходят ее взрыв и образование токопроводящего канала; по мере роста величины тока через него растет сила Лоренца, направленная как показано на схеме по стрелке *H*; это приводит к перемещению столба дуги в указанном направлении со скоростью, пропорциональной квадрату тока I^2 . Одновременно с этим имеют место перемещение анодного и катодного пятен и рост