

Компенсация этих отклонений всегда выполняются с помощью горизонтального механизма выверки, так как чтобы переместить вершину прицельного угольника сетки прицела направо, когда направление ветра (З→В), и налево, когда направление ветра (В→З) (рисунок 3).

Обычно диапазон выверки прицела  $\pm 1$ град ( $\pm 60$  угловых минут), поэтому нет возможности исправлять отклонения баллистической пути пули при дрейфе ветра при значении отклонения больше (60 угловых минут) (таблица 2).

Таблица 2. Значение поправки соответствующее отклонениями при нацеливании на цель на дистанции (100, 200, 300 м)

Скорость ветра, м/с, для одного компонента: вектор в направлении (З→В)	Величина смещения пули, см, при наводке на цель (дистанция 100 м)	Значение поправки соответствующее перемещению, угл. минут	Величина смещения пули, см, при наводке на цель (дистанция 200 м)	Значение поправки, соответствующее перемещению, угл. минут	Величина смещения пули, см, при наводке на цель (дистанция 300 м)	Значение поправки, соответствующее перемещению, угл. минут
1	2,175	0,75	11,6	2	30,45	3,5
2	5,075	1,75	23,2	4	60,9	7
4	9,425	3,25	46,4	8	119,625	13,75
6	14,5	5	69,6	12	178,35	20,5
8	18,85	6,5	92,8	16	239,25	27,5
10	23,2	8	116	20	295,8	34
12	29	10	139,2	24	356,7	41
14	34,075	11,75	156,6	27	417,6	48
16	39,15	13,5	185,6	32	478,5	55
18	43,5	15	208,8	36	539,4	62
19	44,95	15,5	220,4	38	-	-
20	47,85	16,5	234,9	40,5	-	-
22	52,2	18	250,85	43,25	-	-
24	56,55	19,5	278,4	48	-	-
26	63,8	22	295,8	51	-	-
28	66,7	23	319	55	-	-

УДК 678.746

## МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПЕНОПОЛИСТИРОЛА ПОСЛЕ ЛАЗЕРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Анисович А.Г.<sup>1</sup>, Бакаев А.Г.<sup>1</sup>, Маркевич М.И.<sup>1</sup>,  
Мальшко А.М.<sup>1</sup>, Чапланов А.М.<sup>1</sup>, Журавлева В.И.<sup>2</sup>, Щербакова Е.Н.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Физико-технический институт НАН Беларуси

<sup>2</sup>Военная академия Республики Беларусь, Минск, Республика Беларусь

<sup>3</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Общей тенденцией развития современного производства является использование новых современных технологий обработки материалов. Ведущее направление в этой области принадлежит лазерному воздействию. Процесс взаимодействия характеризуется рядом особенностей: лазерное воздействие является бесконтактным, можно удалять малые количества материала, зона влияния сосредоточена в микронном слое, поэтому характеристики материала остаются практически неизменными.

Лазерные технологии быстро развиваются и являются более гибкими. Такие лазерные технологии обработки материалов, как маркировка, резка, сверление основаны на процессе лазерной абляции. Вопросам взаимодействия лазерного излучения с твердыми телами посвящено большое количество работ [1, 2], имеются данные по изменению морфологии поверхности и фазового состава. При разработке технологических лазерных режимов важно

учитывать процесс взаимодействия излучения с материалами с неоднородной структурой.

Цель работы установить влияние лазерного воздействия на морфологию экструдированного пенополистирола «Батэплекс 35-Г4».

Для обработки материала использован лазер с модуляцией добротности LS-2134D на алюмоиттриевом гранате с длиной волны 1064нм, генерирующий в двухимпульсном режиме (импульсы разделены временным интервалом 3 мкс, длительность импульсов 10 нс, энергия одиночного импульса составляет 0,05 Дж).

Образованная в результате испарения вещества под действием первого импульса горячая абляционная плазма создает в приповерхностном слое область с повышенной температурой и пониженной областью давления воздуха, что приводит к более полному использованию энергии второго импульса для лазерной абляции [1]. Материал облучали лазерным излучением в интервале плотностью мощности  $1 \cdot 10^6 - 1 \cdot 10^7$  Вт/см<sup>2</sup> при

различных общих длительностях воздействия от 5 до 15 секунд.

Исследования состава образцов проводились с помощью системы энергодисперсионного (EDS) микроанализа, установленной на сканирующем электронном микроскопе SEM 515.

Изображения микроструктуры образцов получены на металлографическом комплексе, на базе оптического микроскопа Микро-200 при увеличении  $200\times$ . В состав комплекса входят: персональный компьютер; металлографический микроскоп МИКРО 200; мониторы, которые предназначены для отображения, редактирования и анализа обработанных изображений; видеокамера с адаптером [3]. Количественный анализ изображений производился в программе IMAGE-SP. Фотографии макроструктуры получены сканированием. Толщина образца составляла 700 мкм.

Процесс абляции материала зависит от характеристик лазера (частота излучения, интенсивность, скважность, длительность и форма импульса, размер светового пятна) и теплофизических свойств, состава и структуры материала.

В процессе абляции можно выделить: поглощение излучения и нагрев вещества до температуры испарения; образование плазмы; быстропротекающие физико-химические превращения; разлет плазмы. Процесс поглощения лазерного излучения материалами зависит от качества (состояния) поверхности, структурных неоднородностей, пористости.

В процессе разрушения пенополистирола давление паров вызывает образование потока, который направлен к выходу от углубления. Этот поток выносит часть материала со стенок углубления, в результате чего удаленная масса оказывается больше. Воздействие лазерного излучения приводит к существенному изменению поверхностных свойств пенополистирола с учетом химических реакций в зоне воздействия.

На рисунке 1 представлена морфология исходного материала.

Структура материала ячеистая, размер ячейки составляет преимущественно от 100 до 350 мкм (рис. 2).

Макроструктура материала после отжига показана на рис. 3, а, растровая микрофотография – на рис. 3, б. Отверстие имеет овальную форму. Средний диаметр полученного отверстия 1500 мкм (рис. 3, а, б). В зоне воздействия происходит изменение структуры (рис. 3), ячейки деформируются и как следствие этого прочностные характеристики изменяются. Из рисунка 3 следует, что в результате процесса абляции при разрушении материала (сквозное отверстие) вынос материала происходит неравномерно.

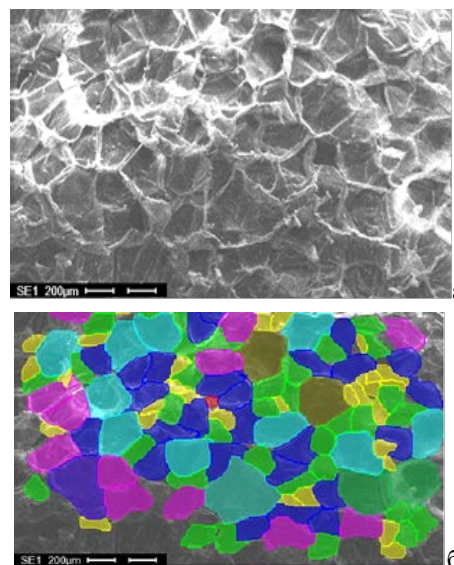


Рисунок 1 – Морфология поверхности исходного материала: а – растровая микрофотография, б – маска определения размеров

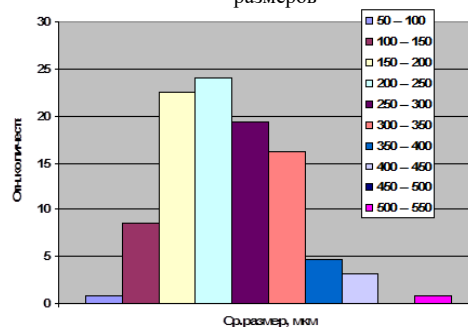


Рисунок 2 – Распределение ячеек материала по размерам

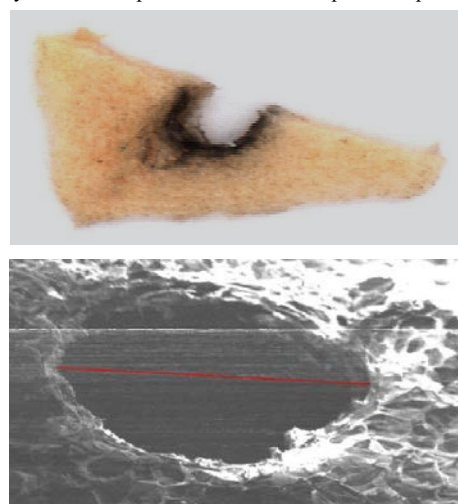


Рисунок 3 – Макро - (а) и микроструктура (б) материала в зоне оплавления

Изучено влияние лазерного воздействия на морфологию экструдированного пенополистирола «Батэплекс 35-Г4». Установлено, что в зоне воздействия происходит изменение структуры, ячейки деформируются, что приводит к изменению прочностных характеристик.

1. Воздействие мощного лазерного излучения на поверхность полупроводников и металлов: нелинейно – оптические эффекты и нелинейно – оптическая диагностика / С.А. Ахманов [и др.] // Успехи физических наук. – 1985. – Т. 147. – Вып. 4. – С. 675–745.
2. Маркевич, М.И. Структурные превращения в тонких металлических пленках при импульсном лазерном

воздействии / М.И. Маркевич, А.М. Чапманов // Известия Национальной академии наук Беларуси. – 2016. – № 1. – С. 28–34.

3. Анисович, А.Г., Румянцова, И.Н. Практика металлографического исследования материалов. – Минск: Белорусская наука, 2013. – 221 с.

УДК 681

## ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕРФЕРОМЕТРА ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕРКАЛА

*Артюхина Н.К., Самусенко А.А.*

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь.*

В настоящее время интерферометры являются незаменимыми инструментами при оценке качества формы в оптическом производстве. Они используются в измерительных системах для контроля плоскостности и сферичности оптических поверхностей, измерения радиуса кривизны и оптических параметров линз [1].

При проектировании интерферометра следует учесть ряд немаловажных факторов, которые оказывают влияние на эксплуатационные, технические и иные характеристики прибора. Все они изначально включаются в техническое задание.

Техническое задание является исходным материалом для создания интерферометра. Поэтому техническое задание (сокращенно ТЗ) в первую очередь должно содержать основные технические требования к продукту и отвечать на вопрос, что данная система должна делать, как работать и при каких условиях. Как правило, этапу составления технического задания предшествует проведение обследования предметной области, которое завершается созданием аналитического отчета. Именно аналитический отчет (или аналитическая записка) ложится в основу технического задания. [2].

Если в отчете требования заказчика могут быть изложены в общем виде и проиллюстрированы UML-диаграммами, в техническом задании следует подробно описать все функциональные и пользовательские требования к системе. Чем подробнее будет составлено техническое задание, тем меньше спорных ситуаций возникнет между заказчиком и разработчиком во время приемочных испытаний.

Таким образом, техническое задание является документом, который позволяет как разработчику, так и заказчику представить конечный продукт и впоследствии выполнить проверку на соответствие предъявленным требованиям. [3].

Техническое задание, как правило, включает следующие разделы:

- общие сведения о системе (программе);
- назначение, цели и задачи системы (программы);

- требования к системе (функциональные требования, пользовательские требования, требования к системе в целом и тд);

- требования к видам обеспечения;
- требования к документированию;
- стадии и этапы разработки;
- порядок контроля и приемки системы (программы).

При проектировании интерферометра, основным назначением которого является контроль качества поверхностей крупногабаритных зеркал; дополнительным – контроль качества оптических деталей со сферическими поверхностями, указываются его основные технические параметры. К ним относятся:

- максимальные габаритные размеры;
- максимальный вес;
- рабочая длина волны;
- диаметр рабочего светового пучка;
- тип приемника изображения;
- пзс-камера;
- тип источника света;
- режим измерения;
- длина кабелей;
- напряжение питания.

Также в техническом задании задаётся принцип работы интерферометра и приводится принципиальная оптическая схема. Так, в ней световой пучок от лазера 1 с помощью микрообъектива 2 фокусируется на диафрагме 3, расположенной в фокальной плоскости коллиматорного объектива 4. Параллельный пучок света, вышедший из объектива 4, проходит через первую поверхность светоделителя 5, расположенного под углом 45 град к оси пучка, и разделяется на два пучка, один из которых отражается от второй поверхности светоделителя, отражается от зеркала 6 и проходит обратно к зеркалу 7, а второй пучок проходит через светоделитель 5 и объектив 9 к контролируемому зеркалу, возвращается обратно и, отразившись от второй поверхности светоделителя, тоже попадает на зеркало 7. Эти световые пучки формируют интерференционную картину, которая объективами 11-1 и 11-2 проецируется на поверхности матовой пластинки 13. Объективы