

УДК 621.373.826

**ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА  
ТУРБОРЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО  
ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ**Гаврилова Ангелина Александровна <sup>(1)</sup>*Студент 4 курса <sup>(1)</sup>,**кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»**Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана**Научный руководитель: М. А. Мельникова,**кандидат технических наук, доцент кафедры «Лазерные технологии в  
машиностроении»*

В настоящее время актуальной задачей является изготовление зубчатых колёс турбины турбореактивного двигателя методом селективного лазерного плавления (СЛП). Небольшие турбореактивные двигатели могут использоваться, например, для беспилотных летательных аппаратов. В данной статье рассмотрены технологические особенности изготовления зубчатого колеса турбореактивного двигателя.

Колесо турбины используется при больших температурах и нагрузках, поэтому необходимо использовать материал, позволяющий добиться характеристик, представленных в таблице 1. Для данного случая был выбран никелевый сплав Inconel 718, который является жаропрочным высококачественным, имеет высокое сопротивление разрушению при высоких температурах, а также высокую прочность с хорошей коррозионной стойкостью.

Таблица 1. Требования к изготавливаемой детали

$\sigma_B$ , МПа	HRC	$E$ , $\frac{кН}{мм^2}$	$\sigma_{0.2}$ , МПа	Пористость	$T_{max\text{ раб.}}$ , °С
700	43	200	950	не более 0,5 %	900

В данном случае более рационально использовать аддитивные технологии, так как требуется изготовить деталь мелкосерийного производства, имеющую много переходов между плоскостями разных форм и площадей. Селективное лазерное плавление – одна из технологий 3D-печати металлом, которая способна с успехом дополнять классические производственные процессы. Оно дает возможность изготавливать объекты, превосходящие по физико-механическим свойствам продукты стандартных технологий.

В основе данной технологии лежит проектирование трехмерных изделий и дальнейшее послойное выращивание. Для подготовки проекта были созданы модель детали в программе «Компас-3D», рассчитаны деформации при помощи программы ANSYS additive и создан проект в «ATSS – Glicer». Чтобы обеспечить требуемые характеристики необходимо подобрать правильный режим СЛП.

Выращивание заготовки производим при толщине слоя 0,03 мм, плотность мощности рассчитывается по формуле:

$$q = \rho [c \cdot \Delta T + L_{пл}],$$

где  $c$  [Дж/кг·К] - удельная теплоемкость,  $L_{пл}$  [Дж/кг] - удельная скрытая теплота плавления,  $\rho$  [кг/мм<sup>3</sup>] - плотность обрабатываемого материала,  $\Delta T$  - это разность между температурой плавления металла  $T_{пл}$  и исходной температурой материала  $T_0$ .

Зная плотность мощности, можно вычислить мощность излучения  $P$ . Значение мощности для выращивания заготовки из никелевого сплава Inconel 718 равно  $\sim 200$  Вт.

Скорость сканирования принимаем равной в интервале от 800 до  $1350 \frac{\text{мм}}{\text{с}}$ .

Для выращивания заготовки был использован комплекс селективного лазерного плавления Астрей А150. После выращивания была проведена термическая обработка по режиму, представленному в таблице 2. В результате упрочняющей термической обработки твердость увеличилась более чем в два раза, с 20–22 HRC до 44–45 HRC.

Таблица 2. Режимы термической обработки

Вид термической обработки	Температура, °C	Выдержка, ч	Среда охлаждения
Отжиг	980	1	воздух
Старение*	1. 720	1. 8	воздух
	2. 620	2. 8	

\* Проведено ступенчатое старение.

Далее была проведена постобработка, включающая в себя электроэрозионную обработку, удаление подпорок, акваблэстинг и механическую обработку. При помощи компьютерной томографии была определена пористость изделия, которая составила менее 0,5%.

В результате проделанной работы, была получена деталь, соответствующая заданной конфигурации и требуемым свойствам (рис. 1). Благодаря свойствам сплава Inconel 718 удалось обеспечить необходимую максимальную рабочую температуру, а благодаря выбранной термической обработке – требуемый предел текучести, модуль упругости, предел прочности на растяжение и твердость, равную 44–45 HRC, которая соответствует заданному значению. Используя описанный режим выращивания, получили пористость, составляющую менее 0,5%.



Рис. 1. Изготовленная деталь

Технологию, описанную в данной работе, можно применять для изготовления изделий, используемых при больших нагрузках и рабочих температурах до 900°C.

## Литература

1. Григорьянц А. Г., Шиганов И. Н., Мисюров А. И., Третьяков Р. С.; ред. Григорьянц А. Г. – М. Лазерные аддитивные технологии в машиностроении: учеб. пособие // Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. – 278 с.
2. Гибсон Я., Розен Д., Стакер Б. Технологии аддитивного производства: пер. с англ./ ред. Пер. Шишковский И. В. – М.: Техносфера, 2016. – 646 с.
3. Рашковец М.В., Кислов Н.Г., Никулина А.А., Климова-Корсмик О.Г. Влияние термической обработки на структурно-фазовое состояние и ударную вязкость никелевого сплава Inconel 718 при аддитивном производстве // Фотоника, том 15, №7, 2021. С. 568–574.