

ТЕХНОЛОГИИ DMT ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ. ЧАСТЬ 1

АЛЕКСАНДР ЗУБКОВ
zubkov@dipaul.ru

В статье приводится описание инновационной технологии 3D-печати металлических изделий — Direct Metal Tooling, которая позволяет печатать аддитивным методом детали размером до 4000 мм из широкого спектра металлических сплавов.

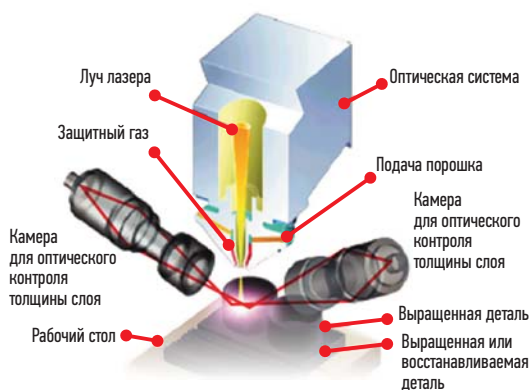
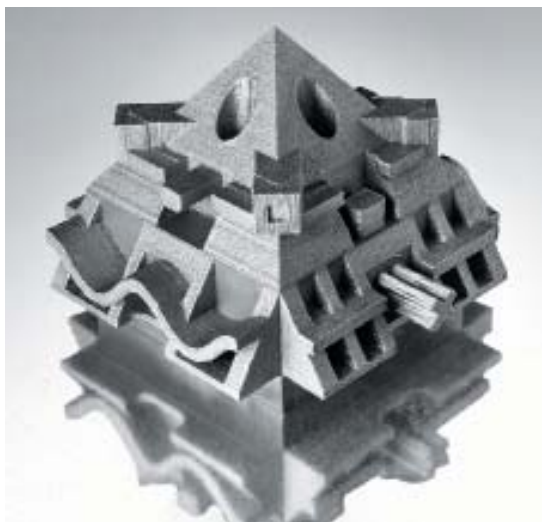


РИС. 1. ▲
3D-печать по технологии Direct Metal Tooling

ПРОЦЕСС DMT

DMT относится к новейшим процессам производства металлических изделий. В этой аддитивной технологии применяется направленная энергия, поэтому осаждение материала происходит в конкретной точке построения (рис. 1). Иными

РИС. 2. ▼
Пример выращенного изделия сложной геометрической формы на 3D-принтере InssTek



словами, в отличие от селективного лазерного спекания или сплавления при использовании DMT-технологии не формируется слой строительного материала на поверхности, а материал подается в точку построения, куда подводится энергия и где идет процесс создания детали.

CAD-модель изделия загружается в 3D-принтер. Специализированным программным обеспечением данная модель разбивается на слои, затем слой за слоем «выращивается» деталь.

Лазерный луч высокой мощности формирует на поверхности металла зону расплава, куда дозированно подается металлический порошок. Он полностью расплавляется лазерным лучом и быстро отверждается в этой зоне. Благодаря подвижной лазерной системе, в которую также интегрированы каналы для подачи порошков и защитного газа, и 3- или 5-осевому поворотному столу, где формируется деталь, лазерный луч перемещается в соответствии с программой, заданной геометрией изделия, и таким образом происходит послойное построение детали.

Одним из ключевых условий для достижения высокой точности 3D-печати является настройка определенной толщины наплавленного слоя металла. DMT-принтеры компании InssTek, о которых пойдет речь в этой статье, оснащены системой контроля с обратной связью. С помощью встроенных CCD-камер она измеряет толщину слоя и регулирует параметры в процессе печати.

В принтерах компании InssTek также существует возможность выбора трех стандартных модулей для системы подачи порошка — 150, 250

и 400 мкм. В соответствии с требованиями толщина слоя может варьироваться в пределах 100–1000 мкм.

МЕТОДЫ ПРОИЗВОДСТВА

Простой метод построения

Это метод производства металлических изделий с нуля — когда имеется лишь 3D-модель и металлическая подложка, на которой планируется вырастить будущее изделие (рис. 2).

Гибридный метод построения

Для сокращения времени 3D-печати и снижения расходов на материал, вне зависимости от размеров и сложности изделия, предусмотрена возможность совмещения традиционных методов механической обработки и 3D-печати по DMT-технологии (рис. 3). При изготовлении изделий сложной геометрической формы можно использовать заготовку, созданную, например, на фрезерном станке или методом литья, а основную формообразующую часть изделия «вырастить» на 3D-принтере. При этом геометрия поверхности заготовки не обязательно должна быть плоской, может иметь произвольную форму.

ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ТЕХНОЛОГИИ DMT

Рассмотрим основные технологические возможности установок InssTek и преимущества технологий DMT перед другими методами производства металлических изделий.

Размер изделий

Технология DMT позволяет изготавливать металлические изделия

неограниченных размеров. Инженеры компании InssTek разработали установку с максимальной рабочей зоной до 4000 мм, но есть возможность изготовить на заказ и более вместительную машину при возникновении у предприятий потребности в 3D-печати металлических деталей большего размера. Базовый принцип технологии DMT позволяет масштабировать рабочую зону в требуемых пределах.

Механические свойства изделий

Металлические детали, напечатанные на 3D-принтерах InssTek, обладают практически 100%-ной плотностью, отсутствием внутренних дефектов и точек роста дислокаций и, как следствие, высокой механической прочностью на уровне кованных изделий (рис. 4). При этом, в отличие от технологий на базе выборочного плавления (SLM/DMLS/DMP), в рамках постпроцессинга для отжига дефектов не требуется проводить термообработку изделий.

В таблице 1 приведен сравнительный анализ механических свойств изделий, изготовленных методами DMT иковки.

Изготовление изделий из композитных металлических сплавов

При использовании одновременно нескольких материалов 3D-принтер InssTek позволяет изготавливать детали, состоящие из слоев двух и более различных металлических сплавов, получая композитные изделия с заданными свойствами и требуемой геометрией (рис. 5). При этом соединение слоев осуществляется на молекулярном уровне.

Нанесение защитных покрытий

Защитные покрытия наносятся на металлические изделия методом наплавки (рис. 6) и предохраняют детали от механического износа и воздействия агрессивной внешней среды в процессе эксплуатации. Нанесение защитных покрытий значительно увеличивает срок службы деталей.

Восстановление и ремонт металлических изделий

Технология InssTek Auto tracking предназначена для восстановления



ТАБЛИЦА 1. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИЗДЕЛИЙ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ТРАДИЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ И ПО ТЕХНОЛОГИИ DMT

Материал	UTS (МПа)	YS (МПа)	Удлинение (%)	HRC
Сталь Н13 (традиционные методы)	1821	1385	9	51
Сталь Н13 (DMT, длина)	1927	1066	5	54
Сталь Н13 (DMT, ширина)	1998	1477	5	
Сталь Р21 (традиционные методы)	958	857	16	35
Сталь Р21 (DMT, длина)	920	793	20	33
Сталь Р21 (DMT, ширина)	1090	1016	18	

DMT (длина, ширина) — образец для испытаний, выращенный по технологии DMT в различных направлениях из сталей марок Н13 и Р21; UTS (Ultimate Tensile Strength) — предел прочности на разрыв; YS (Yeld Strength) — предел прочности на растяжение; HRC (Rockwell Hardness) — твердость по Роквеллу, шкала С.

металлических деталей, подверженных износу в процессе эксплуатации. Ремонтруемое изделие устанавливается в рабочую зону 3D-принтера, цифровая 3D-модель базовой детали загружается в машину, и система в автоматическом режиме производит наплавку требуемым материалом до восстановления изначальной геометрии износившегося изделия.

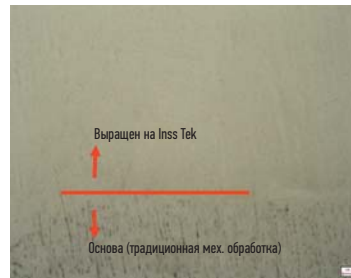


РИС. 3. ▲ Последовательность изготовления при гибридном методе производства: а) 3D-модель требуемого изделия; б) подготовка изделия для гибридного метода производства с помощью технологии DMT; в) изделие в процессе 3D-печати; г) полученное изделие на 3D-принтере до механической постобработки; д) изделие после механической постобработки

РИС. 4. ◀ Металлографический анализ изделия, изготовленного традиционным методом и наплавленной по технологии DMT частью. Видно отсутствие внутренних дефектов в структуре выращенного изделия

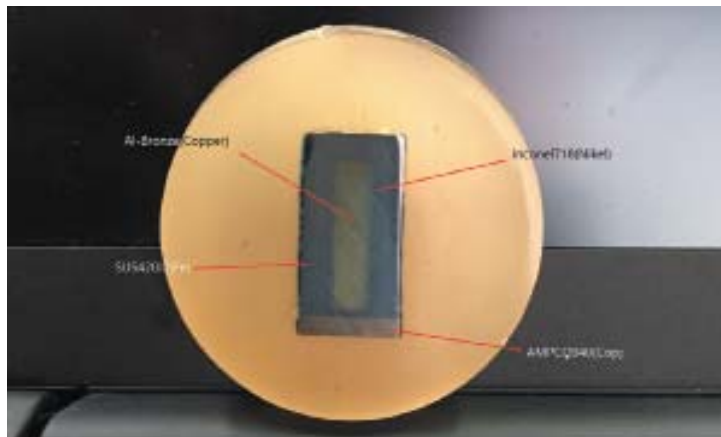
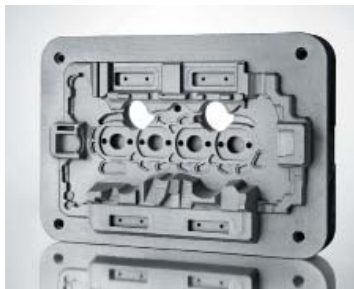


РИС. 5. ◀ Образец, изготовленный по технологии DMT из нескольких металлов: пример наплавления на медную подложку (AMPCO940), полученную традиционными методами, стали (SUS420), медного сплава (Al-bronze) и никелевого сплава (Inconel 718)

РИС. 6. ▶

Литьевая форма для головки блока цилиндров двигателя. Основа изготовлена из стали H13, антикоррозийное покрытие выполнено из сплава Hastelloy C22 методом DMT



Контроль 3D-печати осуществляет встроенная оптическая система сканирования. Области применения: ремонт турбинных лопаток, узлов авиационных двигателей, восстановление пресс-форм термопластавтоматов и других металлических изделий, подверженных механическому износу в процессе эксплуатации.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ УСТАНОВОК

Сегодня линейка оборудования компании InssTek представлена 3D-принтерами, внешний вид которых показан на рис. 7, а основные технические характеристики приведены в табл. 2.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ МОДУЛЕЙ SDM

Стандартный SDM-модуль предназначен для формирования металлического слоя (наплавления) на поверхности металлической подложки/детали и используется как основная часть при 3D-печати металлическим порошковым материалом (рис. 8–9).

Оптическая система (mirro optics) стандартного SDM-модуля фокусирует мощность, сгенерированную лазерной системой, в пучок

диаметром до 1800 мкм (микрон) в зависимости от типа модуля (табл. 3) и направляет его на поверхность металлической подложки/детали. В результате поверхность металла достигает температуры плавления и образуется локальная зона расплава на поверхности подложки/детали. В образованную зону расплава через сопла, расположенные на насадке SDM-модуля, подается металлический порошок, который плавится и быстро застывает. Модуль SDM перемещается по заданной программе (в зависимости от геометрии изделия), и процесс повторяется. Таким образом слой за слоем «выращивается» (или восстанавливается) деталь.

Модуль SDM крепится на несущей пластине внутри корпуса принтера с возможностью перемещения по осям X, Y, Z с точностью позицио-

ТАБЛИЦА 2. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ 3D-ПРИНТЕРОВ INNSTEK

Модель	MX-Mini	MX-400	MX-600	MX-1000	MX-Grande
Рабочая зона, мм	200×200×200	400×450×300	600×450×350	1000×800×650	4000×1000×1000
Мощность лазера, кВт	0,3 (опц. 0,5)	0,5 (опц. 1)	1 (опц. 2)	1 (опц. 2)	5
Модули SDM	500/800	500/800/1200	500/800/1200	500/800/1200	1200
Максимальное количество питателей	2	3	3	3	3
Количество осей	3	5	5	5	6



РИС. 7. ▶

Линейка 3D-принтеров компании InssTek: а) MX-Mini; б) MX-400; в) MX-600; г) MX-1000; д) DMT специального назначения; е) MX-Grande (два последних произведены по требованиям заказчика)

ТАБЛИЦА 3. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАНДАРТНЫХ МОДУЛЕЙ SDM

Тип модуля наплавления	SDM-500	SDM-800	SDM-1200
Толщина слоя, мкм	150	300	450
Скорость печати, см ³ /ч	5–10	10–20	20–40
Шероховатость поверхности, Ra	10	15	20

нирования до 50 мкм и подключается оптоволоконным кабелем со специализированным разъемом к лазерной системе. На пластине также закрепляются питатели объемом 0,6 или 1 л, в которые загружается рабочий материал (металлический порошок). Имеется возможность загрузки и работы с тремя порошками одновременно, что позволяет изготавливать части (наплавку) из нескольких материалов. Рабочий материал (coaxial powder) в инертной среде (shielding gas, обычно аргон) по каналам подачи подается к соплам (puzzle), расположенным на насадке модуля SDM. При достижении заданной программой координаты в соответствии с 3D-моделью порошок дозированно подается в зону расплава. В модуле используется система регулировки скорости подачи материала, а камеры (CCD-камера), расположенные на модуле

SDM, позволяют организовать замкнутую систему контроля качества печати в реальном времени: камеры фиксируют количество наплавленного порошка (толщину слоя), таким образом обеспечивая заданную точность изготовления. ●

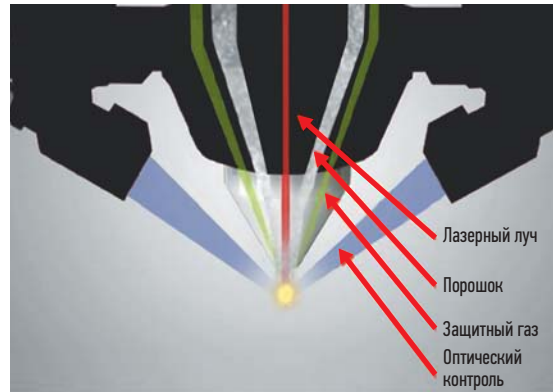


РИС. 8. ▲
Функциональная схема 3D-печати по технологии DMT



РИС. 9. ◀
Нанесение защитного покрытия на литейную оснастку по технологии DMT