

ИНСТИТУТ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ НАН БЕЛАРУСИ

Адрес: 220005, г. Минск,
ул. Платонова, 41
pmi.nil26@gmail.com

Директор – Ильющенко Александр
Федорович
8(017) 292-13-25
alexil@mail.belpak.by

ИНТЕГРИРОВАННОЕ АДДИТИВНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

А.Ф. Ильющенко, А.И. Лецко, О.О. Кузнечик, В.С. Мачнев, А.М. Яркович

Введение. Считается, что появлению в США, Китае и Японии, в странах ЕС (в первую очередь Великобритании, ФРГ, Франции и Швеции), а также России, БРИКС, в странах СНГ (в первую очередь Украине и Казахстане) аддитивного производства предшествовала изобретенная Чаклом Халлом (США) в 1984 году установка лазерной стереолитографии. Коммерческое производство и распространение этих установок было начато в 1986 году компанией 3D Systems (США), одним из соучредителей которых и стал Чак Холл. Способствовало этому также развитие появившихся в конце 60-х годов прошлого столетия технологий послойного синтеза, в США, Японии, в выделенных странах ЕС, включая существовавшие на тот момент СССР, а также страны-участницы СЭВ. Итогом этого стало появление в начале текущего века, сначала в США, Великобритании, Франции и Швеции, а затем и Китае, предприятий по выпуску установок трехмерной цифровой печати полимерами (включая фотополимеры), порошками или порошковыми проволоками металлических сплавов, а также порошками, относящимися к разного вида керамики. Благодаря ASTM, эти установки со второй половины девяностых годов прошлого столетия получили общепринятое название 3D-принтеры. В зависимости от используемых исходных материалов и конструктивных особенностей, в настоящее время большинство 3D-принтеров промышленного и коммерческого назначения при осуществлении трехмерной цифровой печати (3D-печать) реализуют методы послойной избирательной (селективной) фотополимеризации в процессе осуществления лазерной стереолитографии, либо послойного селективного наложения выдавливаемых через экструдер расплавленных полимерных нитей, либо селективного лазерного сплавления, электронно-лучевого проплавления или наплавки порошков металлических сплавов, либо формованием керамических порошков с одновременным разбрызгиванием полимерного связующего. Одновременно с этим, в указанных странах возникли и начали ускоренными темпами распространяться в различных отраслях машиностроения и бытового обслуживания основанные на указанных методах аддитивные технологии и связанное с их внедрением аддитивное производство. Если в первом десятилетии текущего века аддитивное производство активно

развивалась на предприятиях здравоохранения, связанных с выпуском различного рода медицинских имплантатов и протезов, а также на предприятиях, относящиеся к ракетостроению, самолетостроению и двигателестроению, то начиная со второго десятилетия текущего века оно стало охватывать не только предприятия автомобилестроения и тракторостроения, а также связанные с ними ремонтные предприятия, но и те, которые непосредственно связаны с коммерческим обслуживанием населения.

В настоящее время аддитивное производство, активно развивается не только в странах с высоким уровнем индустриального развития, наукоемких и технологических производств, к числу таких стран, в первую очередь, относятся США, Китай, Великобритания, Германия, Франция, Швеция и Россия, но также в странах ЕС, относящихся по степени развитости промышленности и сельского хозяйства к аграрно-индустриальным, включая Индию, Иран, Украину и Бразилию. С учетом этого, для обеспечения необходимых темпов и эффективности развития в Республике Беларусь аддитивного производства, в том числе и на предприятиях автомобилестроения и тракторостроения, следует создать его интегрированный аналог в научно-практических центрах Национальной академии наук Беларуси, а также учебных, научно-методических и производственных центров технических университетов Министерства образования Республики Беларусь. Такое интегрированное аддитивное производство позволит, не только сокращать время и затраты на разработку и внедрение перспективных отечественных моделей 3D-принтеров, расходным материалов к ним к другим, выпускаемым сегодня в мире, включая аддитивные технологии, но и готовить научные и инженерные кадры, которые способны понять основные преимущества проектирования перспективных материалов и изделий, востребованных промышленностью Республики Беларусь и, которые могут быть получены только на аддитивном производстве.

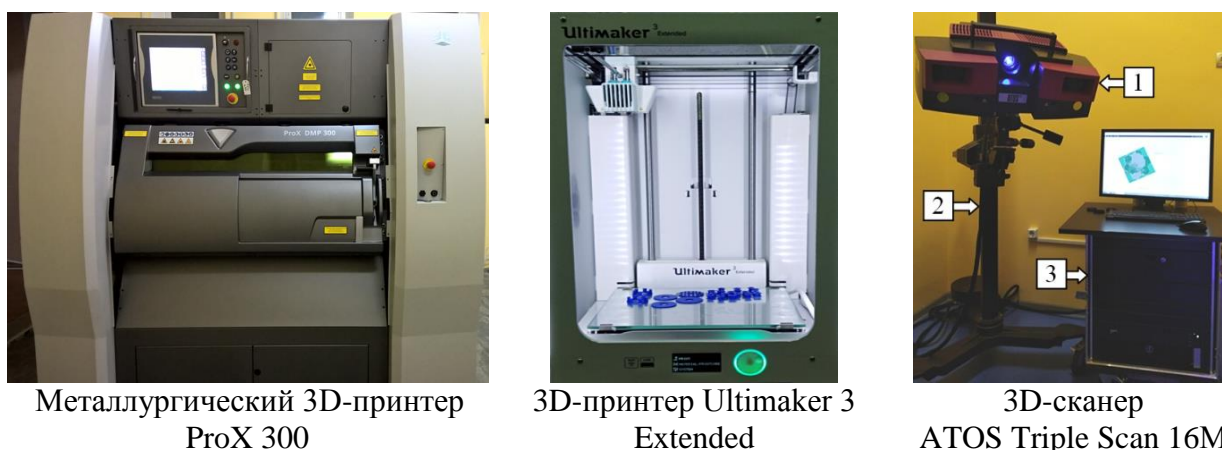
Обоснование структуры интегрированного аддитивного производства.

Учитывая, что развитие трехмерной цифровой печати началось с практической реализации методов послойной селективной фотополимеризации в процессах осуществления лазерной стереолитографии или послойного селективного наложения выдавливаемых через экструдер расплавленных полимерных нитей, в научно-практических центрах стали ее стали использовать для быстрого прототипирования макетов машин и двигателей, а также различных элементов несущих конструкций, узлов и агрегатов будущих машин. Затем, по мере совершенствования метода селективного лазерного сплавления порошков металлических сплавов, 3D-печать стала использоваться на опытно-экспериментальных предприятиях для изготовления и испытаний опытных образцов различных несущих конструкций, а также деталей будущих машин и механизмов. При этом также на опытно-экспериментальных предприятиях машиностроения стали использовать 3D-печать, как полимерами и порошками

металлических сплавов, так и порошками из керамики для получения перспективных образцов формообразующего инструмента, к числу которого относят, например, штампы и литьевые формы со сложной геометрией внутренних поверхностей. При этом следует отметить, что если для обеспечения возможности установки и работы на относительно небольших по габаритам 3D-принтерах, использующих при 3D-печати полимерную нить или жидкий фотополимер, можно организовать специализированное рабочее место, то для установки и работы пусть даже и относительно небольших по габаритам 3D-принтеров, использующих в качестве расходного материала либо порошки или порошковые проволоки металлических сплавов, либо порошки из керамики, требуется организация специализированного участка. В состав этого участка должны входить не только рабочее место с 3D-принтером, но также рабочие места по подготовке пневмосистемы подачи сжатого воздуха и защитного газа, по подготовке к использованию самих расходных материалов. Кроме этого, также необходимо организовывать рабочие места с оборудованием, например, для водно-эмульсионного, химического или механического отделения от платформы построения 3D-принтера с последующей термической обработкой получаемых после 3D-печати изделий.

Отметим, что в конструктивном отношении 3D-принтеры являются разновидностью станков с числовым программным управлением. Поэтому, для обеспечения возможности послойного получения на имеющейся у них платформе построения изделий заданной формы, размеров и внутренней структуры, необходимо использовать соответствующее программное обеспечение. Особенностью такого программного обеспечения является то, что в его состав, кроме встроенной и адаптированной для работы на том или ином 3D-принтере операционной системы, драйверов и утилитов, включая диалоговую оболочку, устанавливающую связь оператора с исполнительными механизмами и режимами работы такого печатающего устройства, должны также входить программы, содержащие цифровые модели требуемых изделий, а также программы по их установке на платформу построения и закрепления на ней с помощью поддержек, с последующим виртуальным разбиением на слои построения заданной толщины. Для обеспечения возможности разработки и корректировки таких программ, включая программы-симуляторы процессов 3D-печати, механического отделения от платформы построения получаемых изделий с последующей термообработкой, необходимо создавать соответствующий информационно-технологический участок. Его основным предназначением следует считать – подготовку, корректировку, сопровождение в аддитивном производстве и хранение цифровых трехмерных моделей изделий, получаемых трехмерной цифровой печатью. Учитывая, что получаемые таким образом изделия могут иметь сложную форму и геометрию поверхности, контроль на соответствие точности параметров, характеризующих это, по отклонению получаемых значений от требуемых, может быть сложно

выполнимой задачей. Решению этой задачи может способствовать создание рабочего места или участка технического зрения, на котором имеется 3D-сканер. Возможность оперативного взаимодействия между собой задействованного работающего цифрового оборудования, вышеперечисленных производственных участков и рабочих местах цифрового оборудования, включая синхронизацию и наладки при подготовке к работе этого оборудования, может обеспечить наличие удаленного доступа к ним через локальные, а при необходимости местные региональные сети интернета. Для реализации такой возможности, на интегрированном аддитивном производстве должно быть хотя бы одно рабочее место системного администратора. Наличие удаленного доступа к цифровому оборудованию позволит при необходимости создавать гибкое интегрированное аддитивное производство на постоянной или временной основе с варьируемым переменным составом производственных участков и рабочих мест, которые к тому же могут находиться в различных населенных пунктах. В состав такого интегрированного аддитивного производства могут быть, например, включены участки металлургической 3D-печати, быстрого прототипирования и 3D-сканирования Института порошковой металлургии имени академика О.В. Романа. Внешний вид основного технологического оборудования представлены на рисунке 1, а его характеристики – в таблицах 1–2.



Металлургический 3D-принтер ProX 300

3D-принтер Ultimaker 3 Extended

3D-сканер ATOS Triple Scan 16M

Рисунок 1 – Оборудование для интегрированного аддитивного производства
1 – оптический детектор; 2 – поворотная стойка; 3 – автоматизированное рабочее место

Таблица 1 – Характеристики металлургического 3D-принтера ProX300

| Показатели | Значения |
|---|--|
| Метод 3D-печати | Прямое селективное лазерное сплавление частиц порошков металлических сплавов |
| Предельные размеры рабочей зоны 3D-печати | 250×250×300 мм |
| Расходный материал | Порошки металлических сплавов со сферическими частицами не более 100 мкм |

Таблица 2 – Характеристики 3D-принтера Ultimaker 3 Extended

| Характеристики | Показатели |
|---|---|
| Метод 3D-печати | Послойное нанесение расплавленной выдавливаемой из экструдера полимерной нити |
| Предельные размеры рабочей зоны 3D-печати | 215 x 215 x 315 мм |
| Расходные материалы | ABS, PLA, PVA, HIPS, ВАТСОН, Нейлон, ПОЛИКАРБОНАТ |

Использование 3D-сканера позволяет не только контролировать размеры получаемых 3D-печатью изделий, но решать задачи обратного инжиниринга.

Примеры возможных вариантов экспериментальных образцов изделий, полученных на металлургическом 3D-принтере ProX300, которые могут быть использованы для разработки востребованных в машиностроении деталей, представлены на рисунке 5.

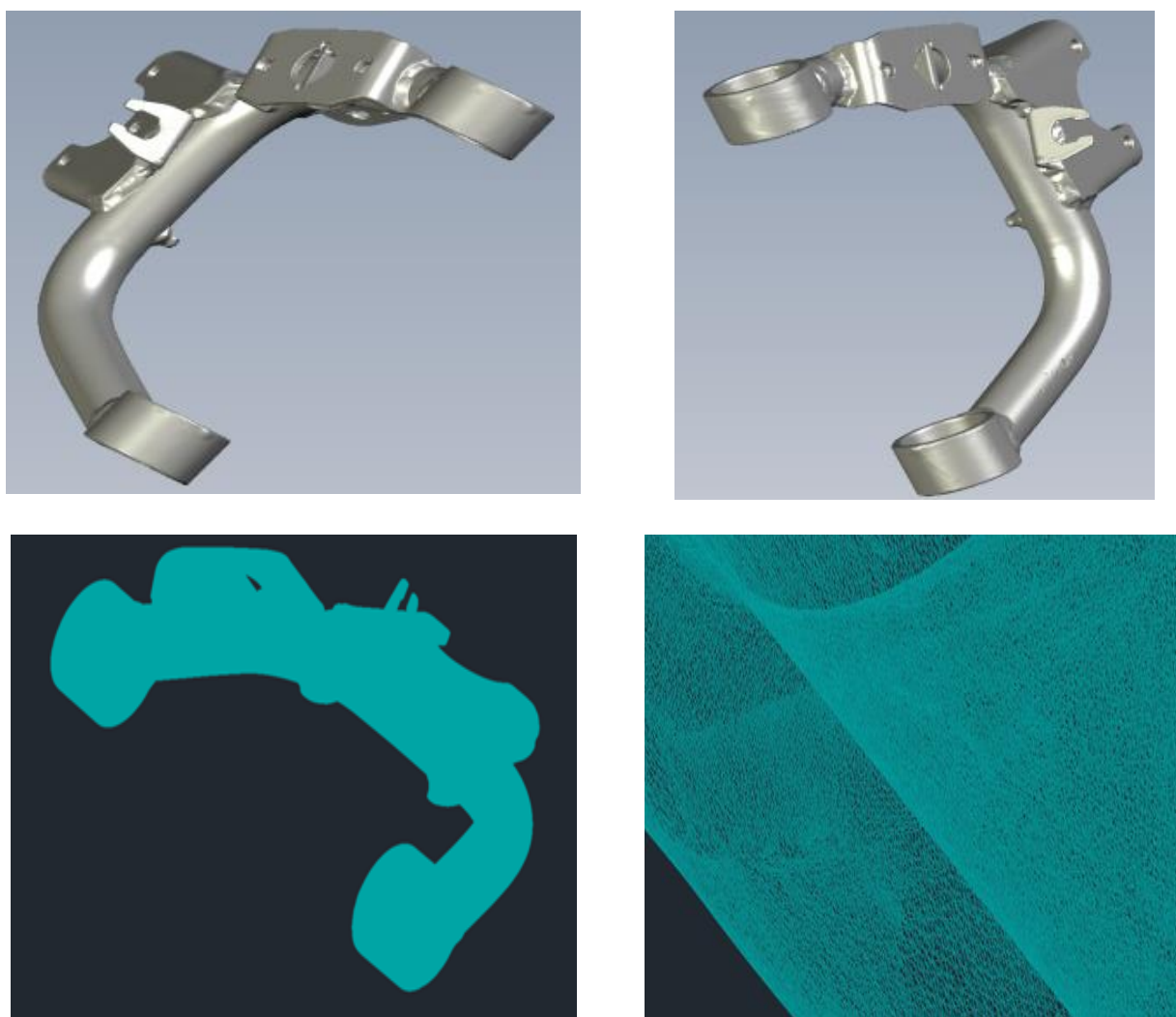


Рисунок 2 – Рычаги подвесок и их полигональные оболочки после 3D-сканирования

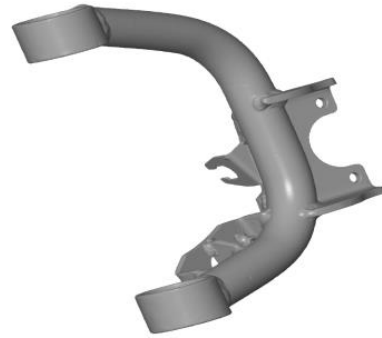
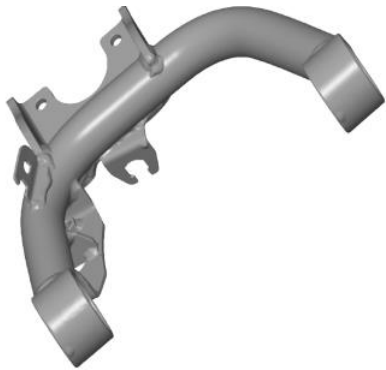
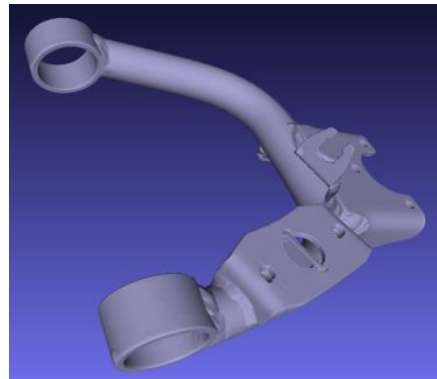
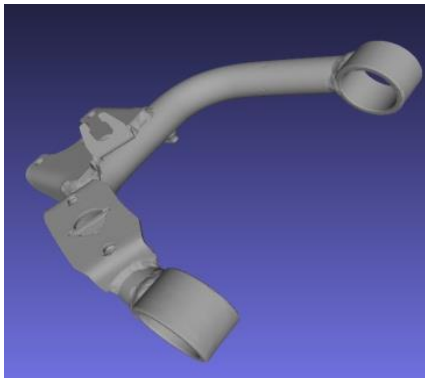
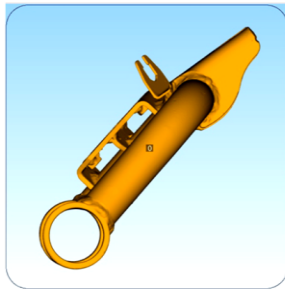


Рисунок 3 – 3D-модели рычагов автомобильной подвески в форматах .stl и .m3d;



Resume

| | |
|--|--------------------------|
| Number of sliced objects | 1 |
| Database | ProX300_PS7165-21_B04.db |
| Manufacturing time | 84h : 53min : 33s |
| Layering time | 19 s |
| Sintered volume estimation (mm ³) | 738320 |
| Estimation of the powder height (feeding piston, mm) | 402 |

Рисунок 4 – Протокол расчета длительности и необходимый объем порошка для 3D-печати рычагов подвески

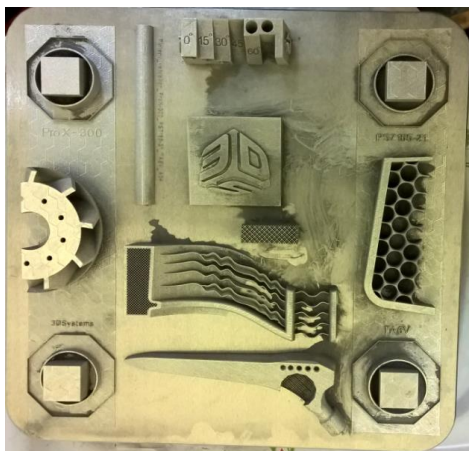


Рисунок 5 – Экспериментальные образцы деталей после 3D-печати