

# Высокотехнологичные малые цифровые производства в машиностроении

**Е В Платонова, В В Платонов, В В Тимченко, Е М Желтобрюхов**

Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», 655017, Россия, г. Абакан, ул. Щетинкина, 27

E-mail: eplatonova@yandex.ru

**Аннотация.** В статье предложено создание малых высокотехнологичных предприятий машиностроительного направления, которые в условиях полного перехода на цифровые технологии будут способны эффективно решать конкретные технологические задачи крупных промышленных производств и корпораций. Рассмотрен пример действующего малого цифрового предприятия, на котором разработана и внедрена технология изготовления литейной оснастки для получения плоских слитков для ОК РУСАЛ. Описаны цифровые технологии с применением элементов агрегатирования, которые были внедрены при модернизации продольно-фрезерного станка 6М610.

## 1. Введение

Применение современных цифровых технологий в машиностроении базируется на использовании 3D-моделей на всех этапах от проектирования до изготовления детали или узла со сквозной сетевой поддержкой [1,2,3]. При этом производственный процесс полностью переходит на новый высокоэффективный и высокотехнологичный цифровой уровень разработки и управления, что требует перестройки самих машиностроительных производств [3,4]. Цифровизация как минимум на порядок повышает эффективность работы самого производства как за счет устранения влияния на качество продукции субъективного фактора, так и за счет снижения издержек производства, в том числе за счет резкого изменения кадрового состава. Традиционные функции конструктора, технолога, оператора станка с ЧПУ, инженера КИПиА объединяются и могут выполняться одним человеком, прошедшим специальное обучение и имеющим специальную подготовку.

Таким образом, становится актуальным создание малых специализированных цифровых предприятий машиностроительного направления, которые будут эффективно решать конкретные технологические задачи крупных промышленных производств и корпораций, таких, например, как ОК РУСАЛ, СУЭК, АЛРОС и др. Малые цифровые предприятия могут быть самостоятельными, совместными или дочерними. Создание крупными корпорациями последних приведет к значительному уменьшению их затрат на вспомогательное производство и, соответственно, общих издержек.

В качестве примера для ОК РУСАЛ можно предложить создание малых цифровых дочерних предприятий для решения следующих технологических задач:

- механическая обработка литейной оснастки (кристаллизаторы, поддоны) для получения различных слитков;
- изготовление самой литейной машины по разработанной документации;

- ремонт и изготовление электролизеров (кожухов катодных ванн, анодов и анодных держателей);
- специализированная механическая обработка различных групп деталей (корпусные детали и валы различных размеров) для обеспечения основного производства.

## **2. Организация производства по механической обработке литейной оснастки**

Примером специализированного малого цифрового предприятия в Республике Хакасия является ООО «Велес-инжиниринг», в рамках которого разработана и внедрена цифровая технология по механической обработке литейной оснастки (кристаллизаторов и поддонов) для ООО «РУСАЛ-ИТЦ» [6,7,8]. Вследствие цифровизации технологических процессов производственный персонал предприятия насчитывает всего 6 человек. Внедрение цифровых технологий позволяет при двухсменной работе предприятия производить от 50 до 70 кристаллизаторов и около 100 поддонов в год. Такая производительность полностью покрывает потребности Саяногорского, Хакасского, Красноярского и Братского алюминиевых заводов

Для внедрения высокоэффективной цифровой технологии малым предприятием было самостоятельно модернизировано следующее оборудование:

- продольно-фрезерный станок 6М610 с ЧПУ «NC-110», предназначенный для черновой трехосевой и чистовой пятиосевой и шестиосевой механической обработки больших кристаллизаторов и поддонов;
- вертикально-фрезерный станок 65A80 с ЧПУ «NC-220», предназначенный для черновой трехосевой механической обработки небольших (до 1600 мм) и Т-образных кристаллизаторов и поддонов;
- токарный станок 16K20 с ЧПУ «NC-220», предназначенный для механической обработки футорок и заготовок под выпоры для поддонов, а также для изготовления мелких деталей для кристаллизаторов;
- вертикально-расточной станок 2С150МПФ4 с ЧПУ «NC-210», предназначенный для механической обработки выпоров, сверления отверстий в них для поддонов, а также для обработки мелких деталей для кристаллизатора.

Сам цифровой технологический процесс предусматривает следующие этапы:

- подготовка, сборка и анализ 3D-моделей в среде SOLIDWORKS;
- разработка технологического процесса, моделирование обработки и подготовка управляющих программ в среде SprutCAM;
- подготовка необходимой оснастки и инструмента для разработанного технологического процесса;
- передача через сеть на станок управляющих программ, информации по базированию детали и необходимой технологической оснастки;
- установка и привязка детали на станке;
- обработка детали на станке.

Весь технологический процесс может выполняться одним специалистом, который и отвечает за качество работы. Станки имеют одинаковый интерфейс оператора, что облегчает работу на них. Подготовка специалиста позволяет ему работать на любом из перечисленных по технологии станков. При этом один специалист может обслуживать несколько станков одновременно, так как время установки и привязки детали и инструмента значительно меньше времени автоматической работы станка.

Прямые затраты на разработку и внедрение цифровой технологии по механической обработке литейной оснастки не превышают 8 миллионов рублей и были произведены в основном на покупку необходимого оборудования для модернизации четырех перечисленных выше станков под конкретную цифровую технологию.

### 3 Цифровые технологии механической обработки литейной оснастки

При модернизации станков 6М610, 65А80, 2С150ПМФ4 и 16К20 для внедрения цифровой технологии по механической обработке литейной оснастки были предложены следующие оригинальные технические решения.

Для станка 6М610 для автоматического нарезания резьбы метчиком на корпусе кристаллизатора с целью крепления крышки был спроектирован и изготовлен специальный узел для установки энкодера в узле привода лобовой головки (рисунок 1).

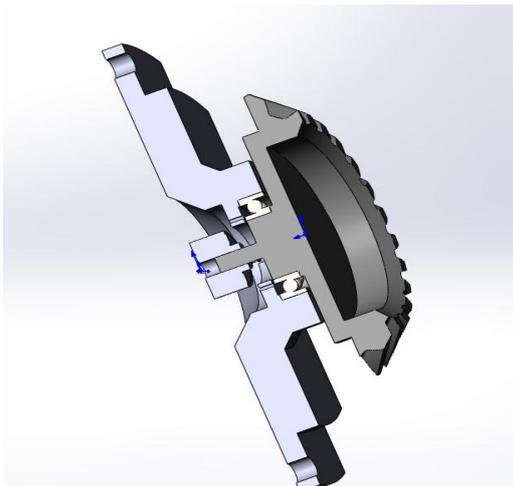


Рисунок 1. Коническая шестерня с энкодером ЛИР-238А

Предварительная черновая обработка кристаллизаторов и поддонов выполняется в трехосевом режиме с максимальным использованием технологических возможностей станков (высокой жесткости и производительности самого станка) и применением технологии высокопроизводительной обработки алюминиевых сплавов (рисунок 2).



а)



б)

Рисунок 2. Черновая обработка наружного контура поддона (а) и ванны поддона (б)

Чистовая обработка кристаллизаторов и поддонов ведется с использованием технологии HSM, в пятиосевом XYZCA варианте обработки с высокоскоростным мотор-шпинделем, имеющим жидкостное охлаждение (рисунок 3). Сверление основных отверстий для подачи воды выполняется методом пространственных приращений (рисунок 4).



а)



б)

Рисунок 3. Двухосевая головка АС со скоростным мотор-шпинделем (вид спереди (а) и вид сбоку (б))



Рисунок 4. Сверление отверстий в кристаллизаторе методом пространственных приращений

При сверлении по оси  $W$  отверстий малого диаметра до 0,8 мм и накатки вместо строгания внутренней поверхности кристаллизатора используются специальные устройства, которые крепятся к посадочному гнезду мотор-шпинделя (рисунок 5). Это позволяет за две установки на одном станке обработать практически весь кристаллизатор или поддон.

На первом этапе в автоматическом режиме основным шпинделем выполняется трехосевая черновая обработка кристаллизатора или поддона. Далее этим же шпинделем с применением машинных метчиков под футорки у поддона и под крепление верхней крышки кристаллизатора производится нарезка резьбы. На втором этапе выполняется высокоскоростная чистовая обработка кристаллизаторов и поддонов в пятиосевом режиме по технологии HSM. Для этого в месте крепления лобовой головки устанавливается специально разработанная двухосевая головка, на которой могут крепиться (в зависимости от технологии) высокоскоростной мотор-шпиндель (рисунок 3), линейный модуль (ось  $W$ ) с малым мотор-шпинделем (рисунок 5а) или накатное устройство (рисунок 5б).

Если требуется, производится, накатка внутренней поверхности кристаллизатора. На рисунке 6 показан процесс накатки внутренней поверхности Т-образного кристаллизатора.

При обработке верхнего фланца кристаллизатора с системой подачи масла под высоким давлением можно использовать только одну ось  $S$  шпиндельной головки и не использовать ось  $A$ , так как все элементы и отверстия находятся в одной плоскости. На рисунке 7 показан вариант использования шпиндельной головки с осями  $XYZCW$  при сверлении жиклеров диаметром 0,8 мм для подачи масла под давлением.

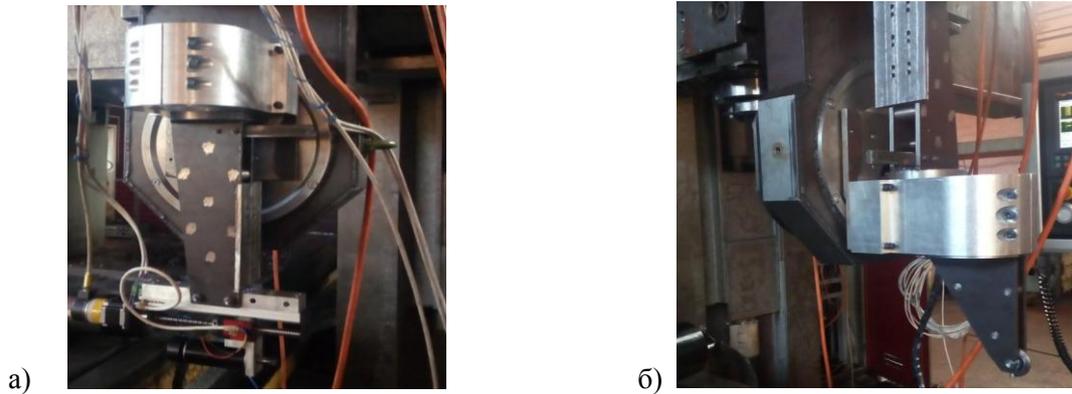


Рисунок 5. Крепления дополнительного привода W с малым мотор-шпинделем (а) и накатного устройства (б)

На рисунке 8 показан вариант использования шпиндельной головки с осями XYZC с горизонтальным креплением мотор-шпинделя при сверлении отверстий для подачи масла в зону кристаллизации слитка. Возможен также вариант использования шпиндельной головки с осями XYZC с вертикальным креплением мотор-шпинделя при обработке каналов для подачи масла в зону кристаллизации слитка.



Рисунок 6. Накатка внутренней поверхности кристаллизатора



Рисунок 7. Вариант использования шпиндельной головки с осями XYZCW: 3D-модель (а) и процесс сверления жиклеров (б)

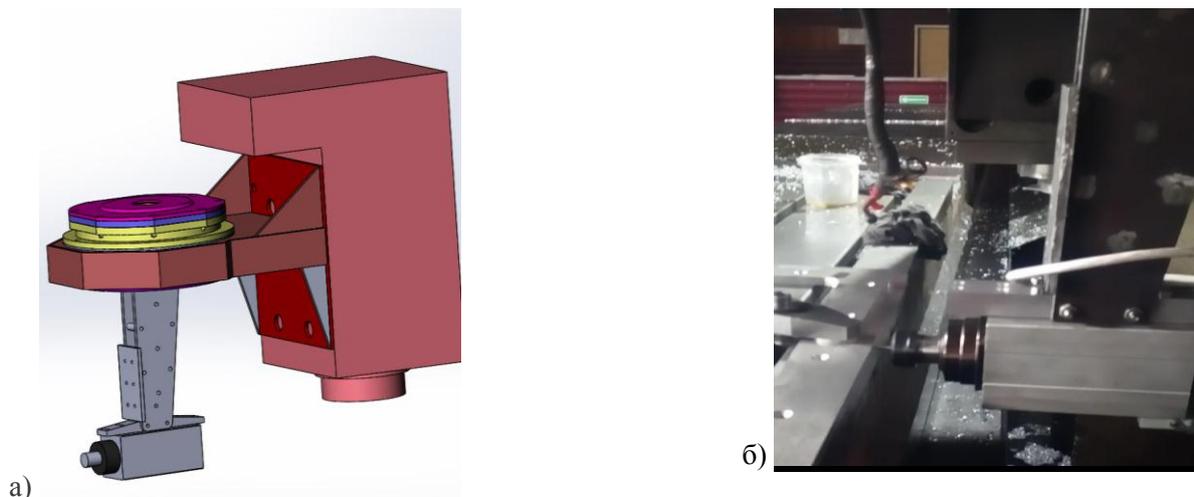


Рисунок 8. Вариант использования шпиндельной головки с осями XYZC с горизонтальным креплением мотор-шпинделя: 3D-модель (а) и процесс сверления отверстий (б)

### Список литературы

- [1] Сметанин С.Д., Плаксин А.В., Шаламов В.Г. Применение цифровых технологий для решения производственных задач металлообработки. // *Наука и бизнес: пути развития*. 2019, №5(95), с.144-148.
- [2] Горячева О.Е., Евстигнеева О.А., Сидоров В.В. Проблемы развития технологий применения искусственного интеллекта в условиях цифровой экономики. // *Международный студенческий научный вестник*. 2018, с.4-6.
- [3] Павлов С.А. САЕ-технологии в 2013 году: обзор достижений и анализ рынка. *CAD/CAM/CAE Observer*. 2014, №4, с.8-18.
- [4] Григорьев С.Н., Кутин А.А., Долгов В.А. Принципы построения цифровых производств в машиностроении. // *Вестник МГТУ «Станкин»*. 2014, №4(31), с.10-15.
- [5] Григорьев С.Н., Кутин А.А. Создание цифровых производств – эффективный путь повышения производительности труда в машиностроении. // *Технология машиностроения*. 2015, №8, с.59-63.
- [6] Майзель И.Г., Платонов В.В., Глушкин Е.Я. Разработка специальной трехосевой шпиндельной головки для изготовления литейной оснастки по технологии HSM. // *Вестник ИрГТУ: Механика и машиностроение*. 2015.- №7(102). с. 66-70.
- [7] Платонов В.В., Платонова Е.В., Майзель И.Г. Модернизация металлорежущих станков с ЧПУ под конкретные технологические задачи с применением элементов агрегатирования. // *СТИН: Научно-технический журнал*. – ООО «СТИН», №8, 2016. с. 8-12.
- [8] Platonov V.V., Platonova E.V., Maizel I.G. Modernization of numerically controlled machine tools on modular principles // *Russian Engineering Reserch*. – Vol. 37. -№2. – 2017. pp. 140-143.