Малые специализированные цифровые производства в машиностроении

V V Platonov, M M Sagalakova, V V Timchenko and E M Zheltobruhov

Khakassian Technical School, a branch of the Siberian Federal University, 27 Shchetinkina street, Abakan, 655017, Russia

E-mail: eplatonova@yandex.ru

Аннотация. Авторами статьи затронуты проблемы создания и роли малых специализированных цифровых производств в машиностроении. Подчеркивается, что применение цифровых технологий и модернизация оборудования действующих предприятий под цифровые технологии способно вывести металлообработку на новый более высокий технологический уровень.

1. Введение

Внедрение цифровых технологий и создание современных цифровых производств является мощной базой для перехода всех отраслей экономики России на новый технологический уровень. В особенности это актуально для машиностроительной отрасли, которая является базовой отраслью экономики и сегодня нуждается в поддержке и развитии [1].

Предпосылками выхода машиностроения, в том числе металлообработки, на современный уровень являются бурное развитие приводной и вычислительной техники, разработка современного программного обеспечения, что обусловило коренное изменение металлообрабатывающего оборудования. Оборудование становится гибким, мобильным и обладает значительно более широкими технологическими возможностями [2]. У современного станка с числовым программным управлением (ЧПУ) практически нет механических передач и коробок передач. Из механики на станках остались только передачи винт-гайка качения, которые вскоре также исчезнут в связи с широким применением линейных и круговых двигателей. Все необходимые составляющие современного станка с ЧПУ сегодня выпускаются специализированными предприятиями в виде законченных модулей. К ним относятся цифровые привода подач и главного движения, системы ЧПУ, измерительные системы, системы смазки и уравновешивания, системы охлаждения и защиты зоны резания, шариковые и роликовые направляющие в виде законченных опор и т.д. Современный станок с ЧПУ представляет собой полностью цифровое оборудование со встроенными системами диагностики на всех уровнях и с двусторонней сетевой поддержкой не только управления, но и контроля работы. Сегодня станки специализируются не по видам обработки (токарные, фрезерные, расточные), а по назначению (многоосевая обработка валов, штуцеров, крестовин, корпусных деталей). Такая специализация позволяет выполнить практически все виды механической обработки на одном станке, включая шлицеобработку и зубообработку. Особенностью применения цифрового оборудования является отсутствие потребности в наладчиках контрольно-измерительных приборов и автоматики (КИПиА) и

квалифицированных операторах по обслуживанию, так как все эти работы выполняет компьютер.

Особое значение имеет применение современных технологий 3D-моделирования и сквозных CAD/CAM – технологий, которые в сочетании с современными станками с ЧПУ со сквозной сетевой поддержкой позволяют поднять механическую металлообработку на качественно новый уровень, сделать ее практически полностью цифровой от начала проектирования до завершения изготовления, включая обслуживание оборудования.

Широкое внедрение цифровых технологий в машиностроении влечет за собой создание современных малых цифровых предприятий, имеющих узкую специализацию по выпускаемой продукции, высокую производительность, гибкость и мобильность. В таких условиях целесообразно создание совместных или дочерних малых цифровых специализированных вспомогательных производств под технологические задачи крупных корпораций, таких как РУСАЛ, СУЭК, АЛРОС, РЖД, Газпром и т.д. Создание таких предприятий позволяет для малого бизнеса уменьшить оборотные средства (в основном затраты на сырье) и иметь гарантированный рынок сбыта продукции, а для крупных корпораций ведет к значительному уменьшению затрат на вспомогательное производство и общих издержек на производство [3].

Малые цифровые специализированные машиностроительные производства дают значительные преимущества по сравнению с традиционными производствами. Во-первых, высокий уровень цифровизации и автоматизации производства практически исключает влияние на качество продукции субъективного фактора, поэтому качество продукции определяется уровнем технологии и состоянием оборудования. Во-вторых, интеграция оборудования строится по агрегатно-модульному принципу, при котором все операции по изготовлению изделия выполняются на одном станке (точение, фрезерование, сверление, резьбообработка и зубообработка т.д.). В третьих, цифровизация производственных процессов ведет к интеграции в одну профессий конструктора, технолога, оператора станка с ЧПУ и инженера КИПа. Таким образом, малые цифровые специализированные производства требуют привлечения более универсальных специалистов, которые непосредственно участвуют во всем процессе от проектирования до изготовления детали и полностью взаимозаменяемы.

2. Пример внедрения цифровых технологий в малом специализированном производстве

Примером малого цифрового специализированного машиностроительного производства является созданное нами предприятие, ориентированное на решение технологических задач ОК РУСАЛ по механической обработке литейной оснастки (кристаллизаторов и поддонов различных типоразмеров) для получения плоских слитков. На рисунке 1 представлен вариант одного из кристаллизаторов, изготовленных на предприятии.

Figure 1. Кристаллизатор в сборе

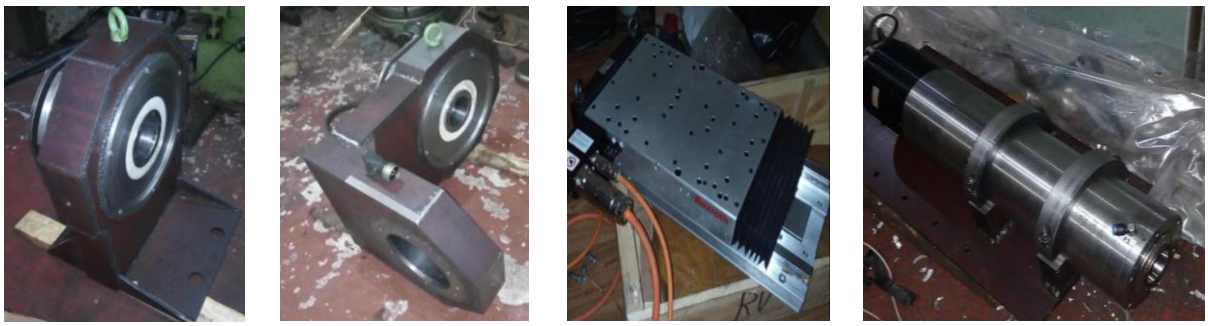
Для разработки цифровой технологии обработки кристаллизаторов и поддонов, используемых в производстве алюминиевых слитков, была проведена модернизация имеющегося оборудования малого металлообрабатывающего предприятия. Полную модернизацию с внедрением цифровых технологий прошли следующие станки: продольно-фрезерный станок 6М610Ф11-23 с цифровой индикацией производства Минского станкостроительного производственного объединения 1988 года выпуска, вертикально-

фрезерный станок 65А80 с крестовым столом и цифровой индикацией Ульяновского завода тяжелых и уникальных станков 1990 года выпуска, вертикальный расточной станок с ЧПУ 2С150ПМФ4 Стерлитамакского станкостроительного завода 1989 года выпуска и токарный станок с ЧПУ 16К20 Московского завода «Красный пролетарий» 1978 года выпуска.

Продольно-фрезерный станок 6М610Ф11-23 подвергся наиболее глубокой модернизации. Устройство цифровой индикации было заменено на систему ЧПУ NC-110 с поддержкой до 16 осей (8-ЦИП, 8-ЦАП) производства ООО «Балт Систем». Тиристорные привода подач (X,Y,Z) были заменены на современные сервопривода производства «БОШ РЕКСРОТ». В главном приводе используется асинхронный двигатель с частотным регулированием. В качестве датчика обратной связи используются оптические линейки по всем линейным осям. Подверглась модернизации система смазки и гидравлика системы уравновешивания. Для автоматического нарезания резьбы машинным метчиком был спроектирован и изготовлен специальный узел для установки энкодера в приводе лобовой головки. Оставлена без изменений торцевая шпиндельная головка с механическим креплением, но демонтированы боковые шпиндельные головки с приводами. На месте крепления лобовой головки разработана трехосевая шпиндельная головка [4] по агрегатно-модульному принципу [5], с использованием двухкольцевых двигателей (оси A и C) и одного линейного двигателя (ось W), производства «БОШ РЕКСРОТ». На рисунке 2 показан внешний вид станка до и после модернизации, на рисунке 3 – перечисленные выше модули.

а) б)

Figure 2. Станок 6М610Ф11-23: а) до модернизации; б) двухосевая шпиндельная головка



а) б) в) г)

Figure 3. Модули станка 6М610Ф11-23: а) модуль поворота 1; б) модуль поворота 2; в) линейный привод; г) мотор-шпиндель

Дополнительно для станка 6М610Ф11-23 были изготовлены сверлильный и накатной агрегаты. Сверлильный агрегат предназначен для сверления отверстий диаметром 0,8 мм в крышке кристаллизатора для подачи смазки под давлением и включает в себя линейный привод с шаговым двигателем, энкодер для обратной связи по перемещению и малый мотор-шпиндель.

Накатной агрегат служит для накатки рисок на внутренней поверхности Т-образного кристаллизатора. Проведение модернизации позволило в одном станке объединить два процесса. Первый процесс - это трехосевая высокопроизводительная обработка, которая проводится с использованием основного вертикального шпинделя или горизонтального шпинделя торцевой головки (силовой станок). Второй процесс - это четырех-, пяти- или шестиосевая обработка [6], которая проводится с высокоскоростным шпинделем в головке и предназначена для чистовой высокоскоростной обработки с поддержкой технологии HSM.

Внешний вид вертикально-фрезерного станка 65А80 до и после модернизации представлен на рисунке 5.

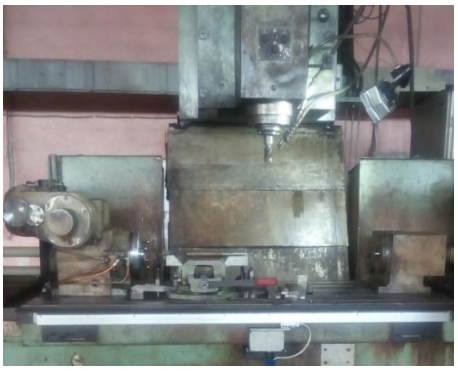
a) b) 

Figure 5. Станок 65А80: а) до модернизации; б) после модернизации

В результате модернизации этого станка были выполнены следующие работы: установлена система ЧПУ NC-220 с цифровым каналом управления, установлены современные цифровые серводвигателя в приводе подач станка, в главном приводе установлен асинхронный двигатель с частотным регулированием, в качестве ДОС по линейным осям применены оптические линейки, установлена четвертая (съемная) ось А от фрезерного станка ГФ 2152, спроектирован и изготовлен новый шкаф электроавтоматики станка. Система ЧПУ NC-220 позволяет реализовать (в зависимости от принятой технологии) два процесса: процесс трехосевой обработки с использованием вертикального шпинделя (X,Y,Z) и процесс четырехосевой фрезерно-токарной обработки (X,Y,Z,A).

Внешний вид вертикального расточного станка с ЧПУ 2С150ПМФ4 до и после модернизации представлен на рисунке 6.

a) b)

Figure 6. Станок 2С150ПМФ4: а) до модернизации; б) после модернизации

В результате модернизации станка 2С150ПМФ4 была установлена система ЧПУ NC-210 с аналоговыми каналами управления, были установлены современные цифровые серво-двигателя

в приводе подач станка. В главном приводе дополнительно к основному двигателю постоянного тока с двухзонным тиристорным управлением был установлен современный высокоскоростной мотор-шпиндель, который позволяет реализовать HSM-технологии. В качестве датчика обратной связи по всем осям применены оптические линейки. Изготовлено устройство принудительного охлаждения нижних подшипников через систему СОЖ в главном приводе.

Внешний вид токарного станка с ЧПУ 16К20 до и после модернизации представлен на рисунке 7.

a) b)

Figure 7. Станок 16К20: а) до модернизации; б) после установки с головкиУГ9326

При модернизации станка 16К20 была установлена система ЧПУ NC-220 с цифровым каналом управления, установлены современные цифровые серводвигателя в приводе подач станка. В главном приводе вместо управления асинхронным двигателем посредством автоматической коробки скоростей на электромагнитных муфтах был установлен частотный преобразователь. В качестве ДОС по всем осям применены оптические линейки. Вместо морально устаревшей шестипозиционной револьверной головки с червячным приводом была установлена восьмипозиционная револьверная головка УГ9326 с подачей СОЖ через инструмент.

3. Результаты внедрения цифровых технологий при модернизации малого машиностроительного предприятия

В 2019 году технология механической обработки кристаллизаторов и поддонов различных типоразмеров доведена до цифрового уровня, разработан технологический процесс механической обработки с учетом модульного принципа при применении оборудования со специальной агрегатированной оснасткой. Цифровая технология предусматривает следующие этапы:

- подготовка, сборка и анализ 3D-моделей в среде СОЛИД ВОРКС,
- разработка технологического процесса, моделирование обработки и подготовка управляющих программ в среде СПРУТ КАМ,
- подготовка необходимой оснастки и инструмента,
- передача через сеть на станок управляющих программ,
- установка и привязка детали на станке,
- сама обработка на станке.

Предварительная черновая обработка кристаллизаторов и поддонов выполняется на станках 6М610 и 65А80 в зависимости от размерного ряда литейной оснастки в трех осевом режиме с максимальным использованием технологических возможностей станков (высокой жесткости и производительности самого станка) и применением технологии высокопроизводительной обработки алюминиевых сплавов. Чистовая обработка кристаллизаторов и поддонов

выполняется в основном на станке 6М610 с применением специальной шпиндельной головки с высокоскоростным мотор-шпинделем. Шпиндельная головка изготовлена по агрегатно-модульному принципу с использованием двух кольцевых двигателей, одного линейного двигателя производства БОШ РЕКСРОТ. В зависимости от принятой технологии можно сочетать различные варианты компоновки четырех, пяти или шести осевое исполнение.

Для применения технологии HSM при обработке алюминиевых сплавов рабочая подача должна быть до 10 м/мин. При этом должна обеспечиваться высокая точность обработки в сочетании с большими инерционными нагрузками. Для этого в конструкции станка оставлены редукторы в приводе подач, которые увеличивают пусковой момент в 6-12 раз, что позволяет поднять точность позиционирования до микронного уровня на большом тяжелом станке. Прямая обратная связь (оптические линейки по всем осям) повышает точность измерений, исключая погрешности в промежуточных цепях (редукторе, опорах, самой передаче винт-гайка качения). Чтобы поднять рабочую подачу до 6-7 м/мин, применили сервопривода БОШ РЕКСРОТ, развивающие до 6000 об/мин при моменте 52 н*м с полосой пропускания менее 1 миллисекунды, что позволяет на высокой рабочей подаче удерживать высокую контурную точность обработки. Основное охлаждение зоны резания осуществляется мощным воздушным потоком. В начале обработки при резком падении контурной скорости на углах и ухудшении условий стружкообразования автоматически в воздушный поток подаются порции масла. Подача порции масла регулируется специальным жиклером и управляется клапаном по технологической команде управляющей программы, которая автоматически генерируется в САМ-системе. Для чистовой обработки ванны поддона и внутреннего контура кристаллизатора в пятиосевом варианте с концевой фрезой со сферическим зубом в САМ-системе применяются специальные стратегии обработки. Это позволяют сместить контакт зоны резания на периферию, то есть ось фрезы во время работы располагается не перпендикулярно обрабатываемому профилю, а под некоторым углом, что увеличивает окружную скорость обработки и снижает возможность залипания стружки.

На токарном станке с ЧПУ16К20 производится механическая обработка футорок для крепления поддонов на плите, штуцеров для подачи воды в кристаллизаторе и заготовок для выпоров в поддоне. На модернизированном расточном станке 2С150ПМФ4 производится сверление отверстий и окончательная механическая обработка выпоров с использованием высокоскоростного шпинделя.

Разработанная цифровая технология успешно внедрена и позволила значительно снизить общие затраты на основные фонды и в конечном счете на организацию производства.

References

[1] Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации»: сайт. – М., 2018 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://digital.gov.ru/ru/activity/directions

[2] Сибикин, М.Ю. Современное металлообрабатывающее оборудование: справочник / М.Ю. Сибикин. – Москва : Директ-Медиа, 2014. – 308 с.

[3] Казыбайкызы А., Смагулова Ж.Б, Берикболова У., Муханова А.Е. Роль малого и среднего бизнеса в современной экономике // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 3-3. – С. 424-427.

[4] Maizel I G, Platonov V V and Glushkin E Ya 2015 Development of a special three-axis spindle head for manufacturing casting equipment using HSM technology Bulletin of ISTU: Mechanics and mechanical engineering 7(102) 66-70

[5] Platonov V V, Platonova E V and Maizel I G 2016 Modernization of CNC metal-cutting machines for specific technological tasks using aggregation elements STIN: Scientific and technical journal 8 8-12

[6] Platonov V V, Platonova E V and Maizel I G 2017 Modernization of numerically controlled machine tools on modular principles *Russian Engineering Reserch* **37(2)** 140-3