

**Ключевые слова:**

модульное станкостроение, 3D-печать, базовые детали станков, облачные технологии, жизненный цикл станков

БУДУЩЕЕ МОДУЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ ИЗ ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК

Станислав ТКАЧЕНКО, Вадим ЕМЕЛЬЯНОВ, Константин МАРТЫНОВ

Изложена концепция отечественного модульного станкостроения на основе декомпозиции корпусных деталей оборудования. Рассмотрено использование облачных технологий в области жизненного цикла станков.

Внедрение информационных технологий в производство, получившее название «третья промышленная революция», подходит к своему концу. Первой из мировых держав об этом заговорила Германия, озвучив на государственном уровне переход к полностью автоматизированному производству, что означает четвертую революцию в промышленности. Пока речь идет о взаимодействии с потребителем на уровне Интернета вещей, но проблема глобальной автоматизации кроется в производстве средств производства, а именно в саморепликации машин. Эта задача не решается мощностью процессора и объемом передачи данных. Скорость модернизации оборудования зависит от технологических переделов в производстве. И прежде всего в производстве станков.

В станкостроении наибольшая трудоемкость приходится на изготовление базовых деталей – станин, стоек, саней, столов и плит. Сроки создания новых станков или дублеров весьма длительны именно из-за этих деталей.

По сложившейся традиционной технологии, после утверждения конструкции станка начинается разработка модельно-литейной технологии, на разработку которой затрачивается 1,5–2 месяца (например, количество литых деталей в станке 2А622ПМВ-4 достигает 170 наименований). На операцию изготовления модельных комплектов уходит до полугода. Процессы формообразования, начиная от подготовки кессонов и крупной опочной оснастки, требуют много времени. Это весьма затратный и трудоемкий процесс. Изготовление крупных форм, стержней и их сборка (количество

стержней в форме достигает 100 шт.) занимают как минимум рабочую неделю, затем заливка и охлаждение отливки в форме. Особенно важен процесс охлаждения отливки до ее выбивки. Точных, научно обоснованных расчетов для определения времени охлаждения крупных сложных отливок нет. По многолетнему опыту, для отливок станкостроения рекомендуется выдержка отливки из расчета 3–4 т/сутки. Нарушение процессов охлаждения приводит к возникновению значительных внутренних напряжений, которые приводят к различной величине коробления, трещинам и даже к разрушению отливок. Длительные циклы охлаждения (например, 30-тонная отливка лежит в форме 10 суток) – это непроизводительные потери рабочего времени, ухудшение технико-экономических показателей, увеличение себестоимости литья и конечной продукции.

Последние операции – удаление стержней, обрубка и очистка отливки – очень трудоемки, они плохо поддаются автоматизации в силу единичного и мелкосерийного производства, а это всегда создает дефицит рабочей силы. Особые требования в станкостроении предъявляются к качеству направляющих базовых деталей. От них зависят точностные характеристики станка и долговечность сохранения этих параметров. Отсюда и жесткие требования станкостроителей к литейщикам и к качеству отливок:

- направляющие должны быть зеркально чистыми после финишной механической обработки;
- твердость направляющих должна быть в пределах 180–200 НВ;

- микроструктура должна соответствовать ОСТ в зависимости от массы отливки и условий работы станка;
- базовая деталь должна обладать высокой демпфирующей способностью.

При изготовлении таких отливок литейщики сталкиваются с рядом сложностей и технологических противоречий. Получить твердость 200 НВ в массивной части станины (толщина 80–120 мм) при строго перлитной структуре очень сложно. Для этого необходимо выплавлять легированный чугун (легирующие компоненты: хром, никель, медь, молибден) марки СЧ30. При этом, в тонких частях отливки образуются цементит и междодритный графит, что не допускается техническими условиями, а опорная часть станин и стоек должна обладать высокой демпфирующей способностью, то есть изготавливать их надо из чугуна с высоким углеродным эквивалентом (СЧ15).

В цельнолитых отливках из одного расплава достичь таких характеристик крупной отливки практически невозможно. Для решения этой проблемы на Ленинградском станкостроительном производственном объединении им. Я. М. Свердлова в 1967 году совместно с Киевским институтом «Проблем литья» был освоен метод двухслойной заливки крупногабаритных станин и стоек координатно-расточных станков мод 2А470 и 2А460 из двух различных марок чугунов. Направляющие заливались легированным чугуном марки СЧ30, а остальная часть формы – из другого ковша чугуна марки СЧ18-36 (маркировка по стандарту 1976 г.). Заливка производилась в разные литниковые чаши с интервалом 30–40 с при температуре 1280–1300 °С. Это вызывало особые технологические сложности, требовало высокой организованности производства и наличия отдельных плавильных агрегатов. Не каждый станкостроительный завод Минстанкопрома мог освоить данную инновационную технологию. Производство заготовок станкостроения за рубежом было аналогично технологиям Советского Союза. До настоящего времени кардинальных изменений нет ни в России, ни в ведущих странах мира.

Направление развития промышленности требует иного подхода к созданию агрегатов тяжелого машиностроения, металлообрабатывающего и кузнечнопрессового оборудования. Один из вариантов решения проблемы – переход на модульное производство станков из унифицированных литых заготовок. Заменить сложные многостержневые цельнолитые конструкции станин, стоек, коробок скоростей на набор типовых элементов. Декомпозиция крупных деталей широко применялась в индустриальном производстве. Это был единственный способ обойти ограничения



Рис. 1. Станок глубокого сверления РТ 263214:
а – общий вид станка, б – узел стыковки частей станины

по габаритам в литейном производстве и в области механической обработки. Производство крупных, уникальных станков возможно только в виде сборной конструкции (рис. 1).

В силу широкого распространения формовки в кессонах и наличия парка крупных опок, вопрос декомпозиции не стоял так остро. Механическая обработка была завязана на человека, и по возможности ее объем старались сокращать. Комплексная автоматизация промышленности и глобализация экономики сместили приоритет издержек в область эффективного использования производственных площадей. Трудоемкость операций механической обработки перестает быть сдерживающим фактором в конструировании механизмов.

Учитывая опыт отечественного станкостроения, предлагается сложные базовые детали разделить (декомпонировать) на простые плоские элементы и унифицировать их (рис. 2), чтобы в дальнейшем можно было из них собрать различные узлы станков (прототип детского конструктора LEGO). Такие плоские, простые бесстержневые или с единичными мелкими стержнями отливки возможно изготавливать на механизированных и автоматических линиях, что в десятки раз повысит производительность, снизит себестоимость изготовления базовых деталей и, соответственно, конечной продукции –

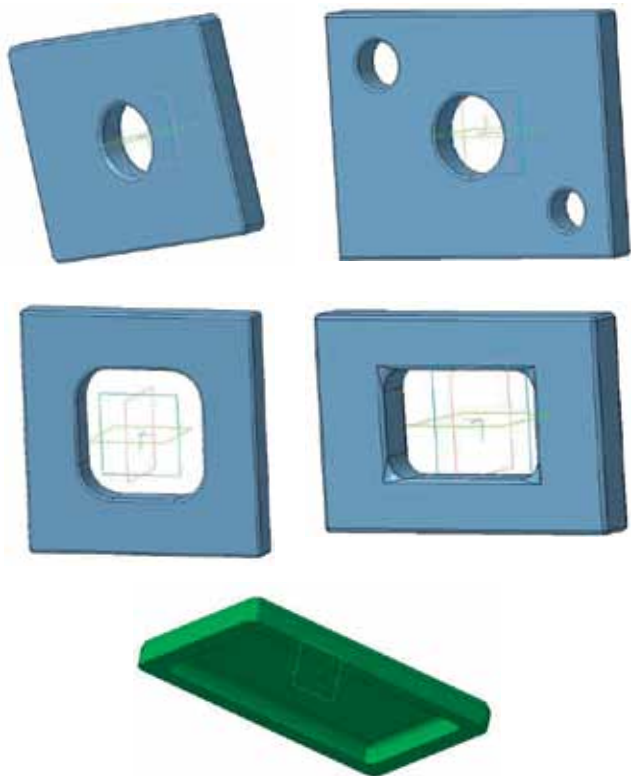


Рис. 2. Типовые элементы станины и коробки скоростей токарного станка. Серым цветом помечены отливки из чугуна. Зеленый цвет – крышка из пластика (подлежит распечатке на 3D-принтере)

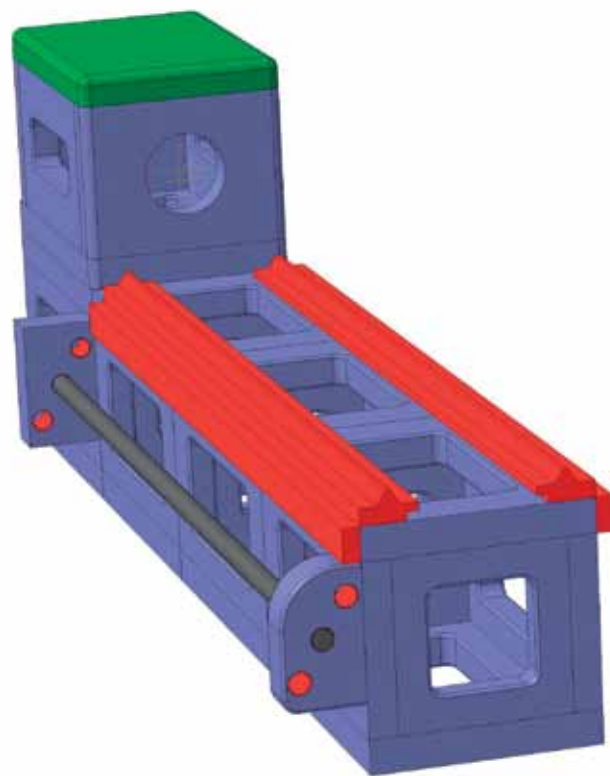


Рис. 3. Корпус токарно-винторезного станка модели ТВ-6, выполненный из типовых элементов

станков и различных изделий тяжелого машиностроения.

Номенклатура типовых деталей нетребовательна к выбору литейной технологии. Литье в песчаные ХТС (холоднотвердеющая смесь), сырые ПГС (песчано-глинистые смеси), V-процесс (процесс литья в вакуумно-пленочные формы) позволяют выпускать чугунные отливки. ЛГМ (литье по газифицируемому моделям) будет эффективно в случае изготовления моделей резкой из листового пенополистирола. Оперативность в изменении конфигурации заготовок позволяет конструировать станок под любые узлы привода, шпинделя и ШВП, без удорожания конструкции. Создание нового станка или внесение изменений в базовую модель не влечет за собой удорожание изделия. Единичный экземпляр и серийный станок будут иметь близкую себестоимость.

Сборка из типовых элементов осуществляется на штифты и резьбовые соединения. На рис. 3 показан вариант декомпозиции токарного станка модели ТВ-6. Направляющие изготавливают отдельно методом прокатки, непрерывным литьем или 3D-печатью из порошкового материала. Крепление к станине происходит на болты. Обработка направляющих производится в зависимости от точности станка. Их можно шлифовать после

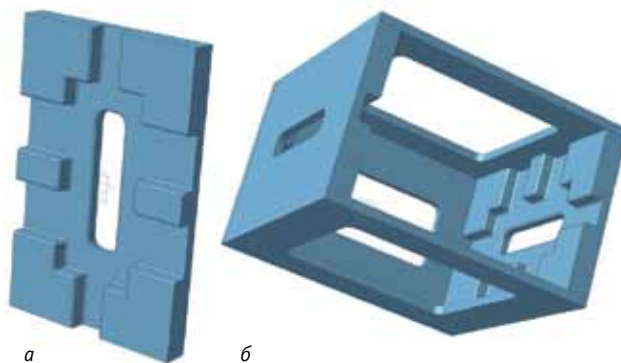


Рис. 4. Типовые элементы станины горизонтально-расточного станка модели 2620: а – типовой элемент, б – сборочный модуль

установки на станину или монтировать обработанными. Более прогрессивный способ организации узлов трения – это 3D-печать покрытия на чугунное основание со сплавлением станины и массы наносимого материала.

С увеличением габаритов оборудования необходимо учитывать возрастающие нагрузки на станину. Усиление стыковочных узлов можно про-

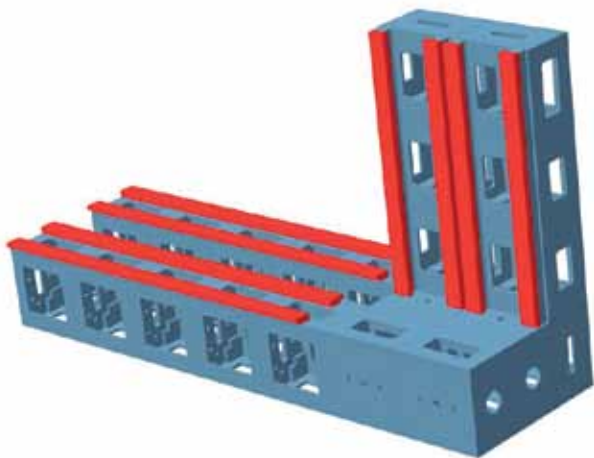


Рис. 5. Вариант декомпозиции корпуса горизонтально-расточного станка модели 2620

водить дифференцированным утолщением элементов (рис. 4).

Декомпозиция оборудования типа горизонтально-расточного станка модели 2620 позволяет гибко подходить к исполнению и комплектации. Габариты станины и стойки конструктор выбирает на основании пожелания заказчика. В процессе эксплуатации станок может быть оперативно перестроен (рис. 5).

Станок должен быть максимально дешевым для скорейшей окупаемости. Декомпозиция позволяет утилизировать корпус в индукционных печах емкостью от 250 кг. Это возможно, если производители типовых элементов предусмотрят V-образные канавки на поверхности плит (рис. 6). Серые чугуны не склонны к росту трещин по концентраторам напряжений при вибрационных нагрузках. Снижения ресурса корпуса не произойдет, но это позволит разделять элементы на шихту с габаритами 200 × 200 × 200 мм ручными гидрокусачками. При этом возрастает остаточная стоимость корпуса станка. Его можно разобрать на фундаменте. Элементы разделить на мелкую шихту по насечкам и удалить в контейнерах без проведения такелажных работ. Насечка выполняется по модели при формовке либо механической обработкой.

Типовые элементы и применение аддитивных технологий позволяют изготавливать каждую единицу оборудования по индивидуальному заказу. Сборные корпуса дают возможность рационально выбирать габариты станка под конкретную номенклатуру заготовок. Типовые элементы и их сборки служат универсальными узлами при проектировании различных по назначению станков. Станина токарного станка может служить стойкой в расточном, фрезерном или карусельном станках. Наличие типовых комплектов различ-

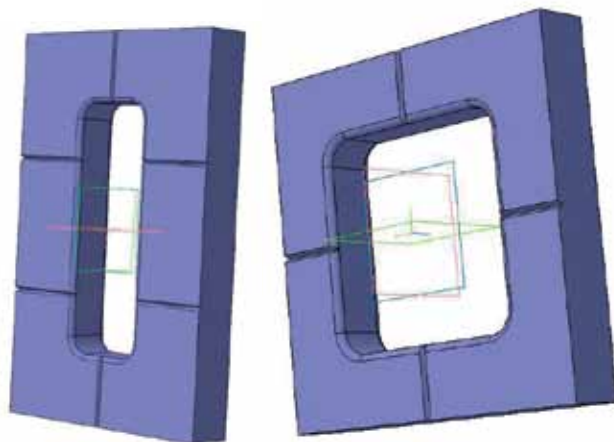


Рис. 6. Элементы станины с концентраторами напряжений для утилизации

ного габарита позволяет существенно расширить унификацию. Коробки скоростей (передняя бабка) при комплектовании соответствующей торцевой плитой служит коробкой подач на станине или суппорте. Задняя бабка токарного станка перестает быть уникальным узлом, ее можно выполнить из типовых элементов коробки скоростей станка меньшего габарита.

Стремительное падение себестоимости 3D-печати открывает возможность внедрения прогрессивной технологии в станкостроении. Пока не идет речь о полном замещении классических технологий на аддитивные, но использование печати для изготовления отдельных элементов оборудования уже актуально. Формирование изделий из термопластичных АВС-пластиков (акрилонитрилбутадиенстирол (С8Н8)х-(С4Н6)у-(С3Н3N)z) позволяет выполнять максимально эргономичными органы управления оборудования, вплоть до персонализации под конкретного пользователя. Переход на полимерные детали возможен в части поддонов для масла, элементов хранения, сбора и подачи СОЖ, корпусов электронного управления и силовой электроники, смотровых и технологических лючков. Не требуется иметь на складе запас пластмассовых комплектующих. Распечатка ведется по ходу сборки. Распространенность 3D-принтеров делает ненужной поставку пластиковых запасных частей. Клиент самостоятельно распечатает необходимое. При наличии САМ-программы в комплекте электронного обеспечения жизненного цикла изделия этот сервис будет востребован.

Для станков с ЧПУ возможна распечатка части направляющих из композитных материалов. Основой служит полимерная смола, а в качестве наполнителя – порошок дисульфида молибдена или графит. Элементы трения вспомогательных



Рис. 7.
Вкладыш подшипника скольжения с перфорацией для смазочного материала

механизмов, подшипники валиков переключения скоростей, седла тяг, концевые части вилок эффективно выполнять в паре «металл – композит». Ожидаемый эффект – плавность работы и снижение уровня шума. Изготовление отдельных вкладышей и оголовков из полимера усложняет конструкцию. Распечатка покрытия происходит как финишная операция изготовления. Исключается человеческий фактор по наличию и позиционированию детали.

Набирает популярность печать металлическими материалами. Лазерная наплавка порошков интересна для станкостроения в части изготовления направляющих и подшипников скольжения. Наплавочный материал направляющих – высокоуглеродистые хромистые стали. После наплавки проводится поверхностная закалка до HRC 58–62. Стали хорошо работают на истирание в паре с серым чугуном, высокооловянистой и алюминиевой бронзой. Чугун на сегодняшний день применим только в виде элементов, получаемых литьем. Медные сплавы могут быть распечатаны на салазках суппорта. Подшипники скольжения валов и винтов подачи целесообразно распечатывать с перфорацией для удержания смазочного материала (рис. 7).

Распечатка ведется при минимальной подготовке отверстия в корпусе станка. Ремонтпригодность распечатанных элементов не отличается от закладных деталей. После удаления изношенного покрытия производится распечатка нового.

Декомпозиция крупных деталей станков открывает возможность саморепликации оборудования. Механообрабатывающее производство может самостоятельно из заготовок типовых элементов получать корпуса требуемого оборудования. Производство заготовок типовых деталей, будучи отданным на аутсорсинг, превращает корпуса станков в доступный продукт. Отпадает необходимость в специализированном производстве. Существенное преимущество декомпозиции в возможности обработать заготовки среднего по массе станка на легком станке. И так по возрастанию до особо тяжелых. Заказчик приобретает пакет CAD/CAM-ПО в виде облачной технологии арен-

ды ресурсов сервера [2]. Закупает необходимые литые заготовки. Обработка деталей может происходить в паузы для рациональной загрузки оборудования. Комплектующие приобретаются самостоятельно или у разработчика. Станок перестает быть фундаментальным объектом. Он может быть расширен, перепрофилирован, создан как расходный материал для выполнения заказа. Стремительно развивающиеся технологии не позволяют содержать станочный парк десятилетиями. Оборудование должно успевать меняться вслед за открытием новых способов формообразования. Приходит время, когда оборудование должно создаваться под систему управления и продолжать совершенствоваться вместе с ней. Декомпозиция неизбежно порождает модульность в конструкции станка. Модули удешевляют изделие, расширяют возможности индивидуализации. Они позволяют расширять специализированные станки до многофункциональных. Такое оборудование можно обновлять и перестраивать. Модульная модернизация позволяет преодолеть главный недостаток станка – износ, как физический, так и моральный. Модернизация превращается из события в постоянный процесс. Отпадает необходимость искусственно ограничивать срок службы изделия для стимулирования производства. Наличие интеллектуальных датчиков в станке позволяет проводить опережающую замену узла. Оборудование перестает ломаться. Номинально оно становится «вечным», обеспечивая при этом загрузку станкостроения.

Системные изменения в отрасли назрели в связи с появлением облачных технологий. Превращение оборудования в объект Интернета вещей и глобальная обработка информации на сервере создает существенный интеллектуальный потенциал. Причем этот потенциал лишь условно принадлежит людям, а по сути, является приоритетом машин. Модель производства в виде пирамиды управления остается в прошлом [1]. Даже глобальное моделирование на основе сетевого решения уже не актуально [2]. Сегодня оборудование эффективно обменивается информацией с сервером только в части алгоритма управления. Оно не может повлиять на свою физическую конфигурацию. Производство подходит к совершенно новому этапу развития. Этапу автономного формирования себя как объекта. Современная промышленность готовится к прорыву и это не простая саморепликация роботов. Возникает понятие эволюции машин без участия человека. Это выход на качественно новый уровень организации бизнеса.

Модульность – это новый товар на рынке оборудования. Это пакет предложений: низкая старто-

вая цена, многофункциональность, ремонтпригодность, возможность саморепликации.

Открывается новая ниша потребителей – станки. Модульный станок выступает потребителем товаров и услуг. Станок, будучи связанным через систему датчиков с сервером, лучше владельца осведомлен о своем техническом состоянии и наличии модулей обновления. По производственной программе станка облачный сервис прогнозирует перспективу модернизации, оценивает себестоимость и возможность выпуска новой номенклатуры изделий.

Жесткая конкурентная борьба на рынке металлообрабатывающего оборудования ставит в тяжелые условия отечественное станкостроение. Качественное и дешевое оборудование из КНР, высококачественные станки западных производителей требуют нестандартного решения задачи конкурентоспособности отечественных машин.

Станки, способные совершенствоваться сами себя, могут вернуть мощь отечественного производства.

ЛИТЕРАТУРА:

1. **Ткаченко С. С., Емельянов В. О., Мартынов К. В.** Современная система проектирования литейных цехов // Литейное производство. 2018. № 7.
2. **Ткаченко С. С., Емельянов В. О., Мартынов К. В.** Автоматизация литейных процессов в современных условиях // Литейное производство. 2017. № 10.

ТКАЧЕНКО Станислав Степанович –
доктор технических наук, профессор,
президент Ассоциации литейщиков
Санкт-Петербурга и Ленинградской
области (ЛенАЛ)

ЕМЕЛЬЯНОВ Вадим Олегович –
кандидат технических наук, заместитель
руководителя филиала Российской академии художеств
«Творческая мастерская «Литейный Двор»
по научно-экспериментальным и научно-исследовательским работам

МАРТЫНОВ Константин Викторович –
кандидат технических наук, заместитель руководителя
филиала Российской академии художеств
«Творческая мастерская «Литейный Двор»
по научно-экспериментальным и научно-исследовательским работам