



Ключевые слова:
модульное оборудование, станкостроение, инженерный анализ, облачные технологии, автоматическое производство

БУДУЩЕЕ МОДУЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА СТРАТЕГИЧЕСКОГО МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

**Станислав ТКАЧЕНКО, Вадим ЕМЕЛЬЯНОВ,
Константин МАРТЫНОВ**

Предложены новые подходы применительно к технологии фрагментации корпусных деталей станков по модульному принципу. Дан инженерный анализ фрагментированной станины токарного станка. Приведены примеры использования модульного оборудования.

К отраслям высоких технологий, помимо традиционных – микроэлектроники, роботостроения, микрохирургии, атомного и аэрокосмического производств, – в полной мере относится прецизионное и тяжелое стратегическое станкостроение. Отечественное станкостроение настойчиво требует инновационных подходов к проектированию оборудования.

В последнее десятилетие 21 века в России сложилась довольно сложная ситуация с производством литых заготовок. Литейные цеха закрываются, многие значительно снижают выпуск, а это приводит к увеличению себестоимости, удорожанию продукции машиностроения и утрате конкурентоспособности. В стране осталось около 1100 литейных «объектов», которые по субъективным данным произвели в 2018 году около 3,5 млн т отливок (большая часть приходится на автозаводы и вагоностроение). Остальные заводы с выпуском 100–300 т/мес. производят мелкое чугунное литье массой до одной тонны, реже до трех тонн и не ориентированы на литье для станкостроения, а стратегическое чугунное и стальное литье массой свыше 10 т в России могут производить только два завода – это «Петрозаводскмаш», «Металлитмаш» (Коломна, чугун) и ОМЗ ЛП «Спец-

сталь» (Колпино, Ленинградской обл., стальное литье). На этих заводах освоены самые современные процессы формообразования и выплавки сплавов на базе литейного оборудования последнего поколения, но мощности используются всего на 20–25% из-за недостатка заказов.

В то же время ряд станкостроительных предприятий получают литье и даже узлы станков из-за рубежа, производят «отверточную» сборку и выдают это за отечественное станкостроение. А на деле это оборудование уже устаревшее – разработки 10/15-летней давности, которое подрывает нашу экономическую независимость и обороноспособность.

Металлорежущее (металлообрабатывающее и крупное машиностроительное) стратегическое (инновационное) оборудование должно быть авторским, независимым от импортных комплектующих, на порядок дешевле коммерческих станков и гарантировать минимальные сроки создания таких станков – 1–3 мес. (рис. 1, 2). Это возможно, если производство будет подведомственно соответствующей госкорпорации, в рамках которой будет организовано «модульное производство станков».

Для станкостроения характерна большая доля ручного труда. Мелкосерийное и единичное

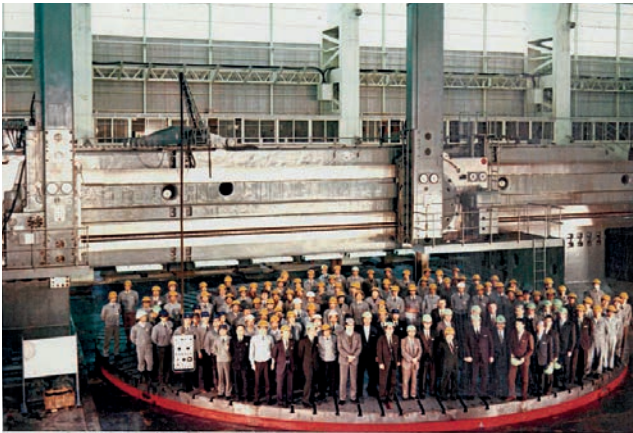


Рис. 1. Карусельный станок модели 299 для фирмы Hitachi (Коломенский завод тяжелых станков «ЗТС»)



Рис. 2. Расточный станок модели LR367F4 (Ленинградское станкостроительное объединение им. Свердлова «Лен СТО»)

производство сложно поддается автоматизации. Основа металлорежущих станков – чугунная станина, стойки, столы. Их жизненный цикл рассчитан на управление интеллектом человека. Только ему под силу изготовление сложной отливки, обработка, сборка станка, транспортировка.

Достижение тотальной автоматизации производства возможно, если заготовка станины и ее обработка осуществляется на автоматической линии. Транспортировка происходит по частям без использования специальных грузоподъемных устройств. Сборка станка ведется из модулей с помощью манипулятора в ограниченном пространстве автоматического производства. Модульность открывает возможность прямой

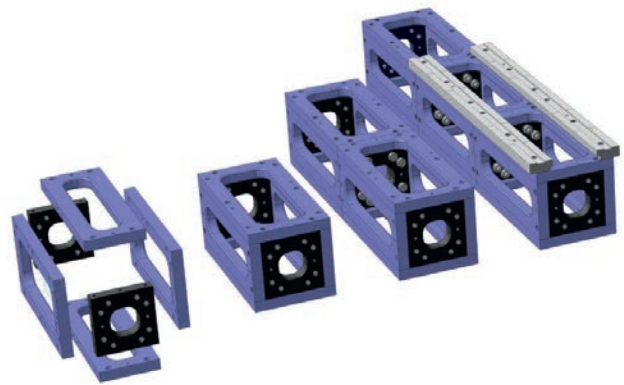


Рис. 3. Схема формирования станины модульного оборудования

реализации виртуальных машин в твердую копию.

Модуль состоит из простейших элементов. Все компоненты максимально технологичны, как в литейном производстве, так и в механической обработке (рис. 3). Производство модулей в современных условиях эффективно осуществлять на автоматизированных линиях. При необходимости возможно ручное производство, при этом не требуется высокой квалификации обслуживающего персонала.

Стыковка модулей приводит к формированию объемных конструкций. Причем из одинаковых элементов может быть собран корпус любого оборудования. Сборка осуществляется либо стыковкой модулей, либо присоединением простейших элементов. Конструкция «вырастает» без применения специального грузоподъемного оборудования.

Одним из направлений этой концепции является технология фрагментации корпусных деталей станков. В качестве примера взята станина токарного станка ТВ-3. Габариты заготовки 900 × 150 × 300 мм, толщина стенок – 10 мм, в области фланцев и направляющих – 15–30 мм,



Рис. 4. Трехмерная электронная геометрическая модель (твердотельная модель): а – фрагментированная сборка станины станка ТВ-3, б – литая станина станка ТВ-3

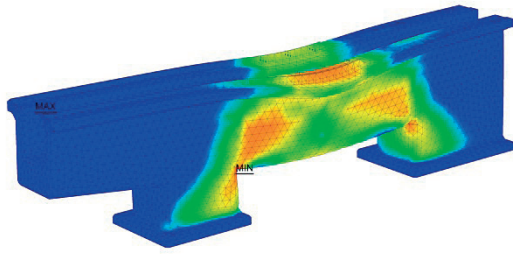


Рис. 5. Распределение коэффициента запаса прочности в литой станине при нагружении

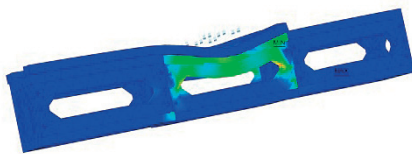


Рис. 6. Распределение коэффициента запаса прочности фрагментированной сборки при нагружении

материал отливки – СЧ 20. Фрагментация проводилась элементами толщиной 20 мм. Материал пластинчатых элементов – СЧ 20. Направляющие накладные прямоугольные стальные. Материал направляющих – сталь 40Х. Крепление элементов на винты М6 под шестигранный ключ. Центрирование на штифты диаметром 6 мм. Модули соединяются между собой на болты М10. Масса литой станины и фрагментированной сборки по 55 кг (рис. 4).

Эксплуатационные характеристики станины – это демпфирующая способность и жесткость. Гашение вибрации обеспечивает использование серого чугуна с пластинчатым графитом. Жесткость конструкции можно оценить, смоделировав нагружение твердотельной модели в программе инженерного анализа. Для литой станины принято закрепление по фланцам. Нагрузка статическая – 2000 Н, распределенная на направляющие между стойками. Нагрузка выбиралась исходя из общей массы станка. Расчетный прогиб составил 0,006 мм, коэффициент запаса по прочности – 100 (рис. 5).

Закрепление сборки задано на нижних элементах боковых модулей. Нагрузка статическая – 2000 Н, распределенная на направляющие в области среднего модуля. Прогиб составил 0,002 мм. Коэффициент запаса прочности – 200 (рис. 6).

Прогнозируемое повышение прочностных характеристик сборной конструкции обусловлено более рациональным распределением материала по сечению детали (рис. 7 а). Масса металла, которая в отливке служит для установки узлов, здесь играет роль силовой части. Короб-

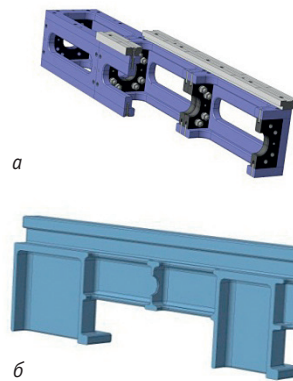


Рис. 7. Сечение станин: а – фрагментированной, б – литой

чатая конструкция с плоскими обработанными стенками выполняет задачу несущего элемента и одновременно установочных поверхностей механизмов станка. Крепление элементов станка к фрагментированной станине происходит по имеющимся отверстиям. В представленной конструкции направляющие крепятся без применения дополнительных отверстий под винты и штифты. Установка системы подачи и крепление к раме не требуют специальных площадок, как на отливке. Усиление опасных сечений и облегчение малонагруженных частей конструктор выполняет без ограничений (см рис. 7 а), но обязательно в рамках типовых элементов для снижения себестоимости и упрощения логистики. Допустимо применение композитной конструкции по материалам. Например, в станине чередуется элементы из высокопрочного и серого чугуна, полимерные вставки закрывают технологические отверстия, а направляющие выполнены из стали.

Конструкция литой станины – это баланс между эксплуатационными характеристиками и возможностями литейной технологии. Жесткое требование по структуре направляющих заставляет жертвовать остальной частью детали. Корпус

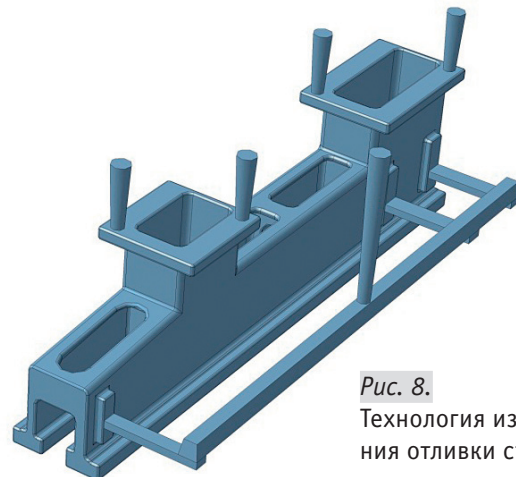


Рис. 8. Технология изготовления отливки станины токарного станка ТВ-3

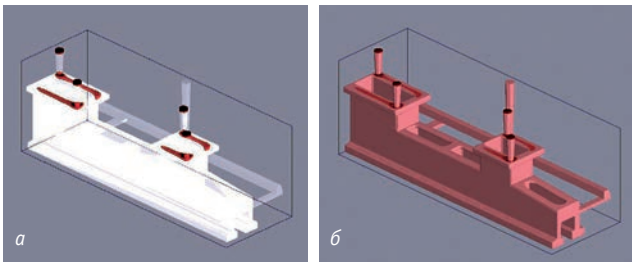


Рис. 9. Результаты моделирования процесса затвердевания отливки станины: *а* – характер усадочного дефекта в объеме, *б* – оценка вероятности выхода усадки на поверхность отливки

выполняют равностенным с целью одновременного затвердевания (рис. 7 б). Система моделирования позволяет проследить соответствие характеристик, заложенных конструктором, и реальные показатели оборудования.

Положение отливки в форме обычно выбирают направляющими вниз по заливке. Подвод металла осуществляют в среднюю часть формы. Место подвода, обрабатываемые приливы под коробку подач и опора под вал и винт представлены на рис. 8.

Подвод металла в среднюю часть отливки обеспечивает заполнение направляющих остывшим потоком металла в тупиковую область формы. Проточная часть отливки тонкостенная. Фланцы крепления стоек имеют припуск на механическую обработку и возможность установки эффективных прибылей.

Моделирование процесса затвердевания в САЕ программе показало склонность фланцев к образованию усадочного дефекта (рис. 9).

Установка прибыль-выпор взамен выпоров и назначение технологического напуска решает эту проблему. Направляющие, несмотря на отсутствие питания массивных частей, не склон-

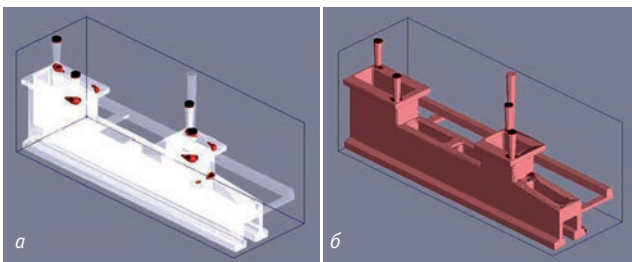


Рис. 10. Вероятность распределения усадочных дефектов в случае увеличения толщины стенки отливки: *а* – характер усадочного дефекта в объеме, *б* – оценка вероятности выхода усадки на поверхность отливки

ны к образованию усадочного дефекта. Сказывается эффект тупиковой части отливки. Технология отличается сложной формовкой в стержнях. Большое количество элементов приводит к нарушению геометрии. Если посмотреть реальные отливки на действующем оборудовании, то разностенность, засоры и раковины характерны даже для таких мелких деталей. Причем разностенность оказывает пагубное влияние на характер затвердевания. Попытка увеличить толщину стенки в основании консоли станины с 10 до 20 мм приводит к появлению усадочного дефекта (рис. 10). Стенка выступает прибыльной частью и уменьшает вероятность усадки во фланце.

Таким образом, конструкция заготовки идеальная, но получить отливку с минимальным количеством дефектов – задача весьма сложная. Облегчают ситуацию свойства чугуна. Гашение вибрации на включениях графита препятствует росту трещин, что и обеспечивает стойкость детали. Засоры и усадочные дефекты нарушают геометрию и уменьшают жесткость конструкции. Как следствие падает точность. Для крупных и высокоточных станков актуальным остается вопрос коробления. Естественное старение весьма эффективный метод стабилизации геометрии заготовки, но не в эпоху высокоскоростного интернета. Термическая обработка (искусственное старение) не обеспечивает желаемых характеристик [1]. Модульная же конструкция предполагает случайный характер распределения остаточных напряжений и их взаимное гашение.

Сравнение эксплуатационных характеристик литой и фрагментированной станины оставляет много вопросов в части корректности сравнения столь разных по очертаниям объектов. Для детального анализа были выполнены твердотельные модели с близкой геометрией в виде литого образца и фрагментированного модуля. В качестве базы использовали станину токарного станка ТВ-3 (рис. 11).

Материал расчетных модулей тот же, что и в полноразмерных деталях. Длина моделей по 600 мм. Масса литого элемента – 26 кг, масса фрагментированного – 39 кг. Прирост массы

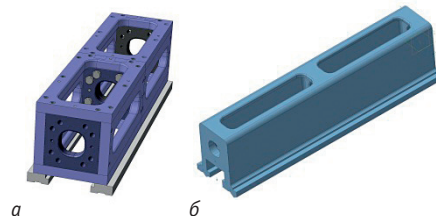


Рис. 11. Расчетные элементы: *а* – фрагментированной станины станка ТВ-3, *б* – литой станины станка ТВ-3

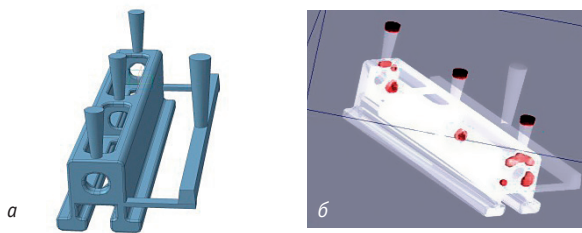


Рис. 12. Схема расчета литого элемента станины: а – твердотельная модель отливки, б – вероятные дефекты усадочного характера в расчетном модуле

сборной конструкции – это прямое следствие использования типовых элементов. В узкоспециализированных деталях отливка имеет преимущество.

Для сопоставимости прочностных расчетов торцевые стенки литого элемента приняты толщиной 20 мм по аналогии со сборной конструкцией. Закономерно возникает вопрос о литейных дефектах в расчетной схеме отливки. Оценку провели по технологии, когда ответственные части располагают вниз по заливке (рис. 12 а). Подвод металла осуществляется в середину отливки по высоте. Нижний подвод исключен по причине разогрева направляющих, верхний подвод металла чреват размывом формы и брызгами в области ближней направляющей.

Моделирование показало возможное возникновение усадочного дефекта в области конструктивного утолщения стенки (рис. 9 б). Таким образом оценка прочности литого элемента не будет иметь заниженных параметров.

Для элемента фрагментированной конструкции имитирована технология заполнения отливки в тупиковую часть (рис. 13). Выпоры расположены над проточной частью отливки для компенсации разогрева формы при заливке. Подвод металла осуществляется по разъему формы. В реальных условиях литниковая система (ЛС) групповая. Моделирование показывает, что усадка локализована в выпор (прибыль-выпор). Отливка может быть получена с минимальным количеством дефектов.

Расчет прочности элементов проводили при закреплении торца модели. Нагрузка в виде распределенной силы в плоскости торца противоположного закреплению, усилие 2000 Н. Положение моделей под нагрузкой представлено на рис. 11.

Моделирование показало, что литой элемент имеет коэффициент запаса прочности 16 при максимальном перемещении 0,1 мм (рис. 14).

Сборный модуль, выполненный из СЧ 20, имеет коэффициент запаса по прочности 12 при

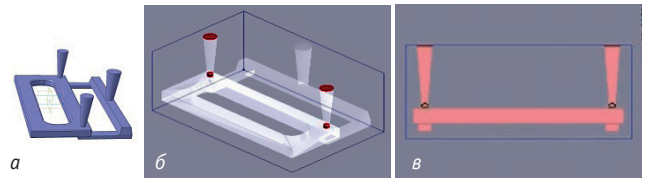


Рис. 13. Результаты моделирования затвердевания элемента сборной станины: а – схема технологии изготовления элемента сборной станины, б – характер усадочного дефекта в объеме, в – оценка вероятности выхода усадки на поверхность отливки

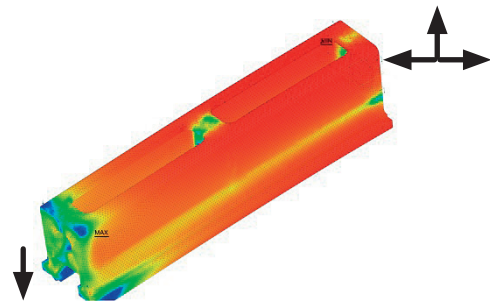


Рис. 14. Распределение коэффициента запаса прочности в литом элементе при нагрузке, где ↓ – приложение нагрузки, ←→ – закрепление модуля

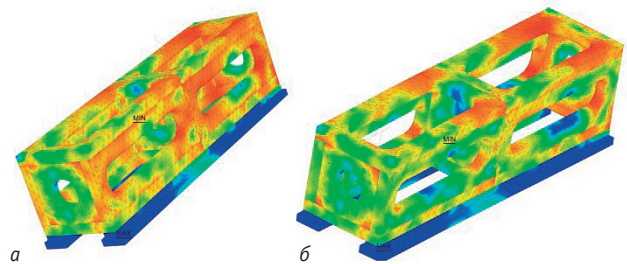


Рис. 15. Распределение коэффициента запаса прочности для сборки: а – выполненной из СЧ 20, б – выполненной с боковыми элементами из ВЧ 45

перемещении 0,07 мм (рис. 15 а). Повышение жесткости обусловлено симметричной конструкцией и разнесенной массой по сечению сборки. Прочность падает по вине типовых элементов, технологические проемы сильно ослабляют общую конструкцию. Такова плата за универсальность.

Без ущерба для демпфирующей способности можно в отдельных элементах использовать не серый чугун с пластинчатым графитом, а высокопрочный чугун или стальной прокат. Замена боковых фрагментов на детали, выполненные из ВЧ 45, увеличивает минимальный коэффициент запаса

прочности до 31 при максимальном перемещении консоли 0,05 мм (рис. 15 б). Масса СЧ 20 в такой конструкции составляет 65%.

Сопоставление расчетов прочности станины и отдельных модулей показывает, чем больше функциональных свойств выполняет сборка, тем она эффективней. Если расчетный модуль проиграл по массе и потребовал замены материала, то сборная станина превосходит отливку по показателям прочности, жесткости и функциональности. Уместно предположить, что интеграция в сборку дополнительных элементов усилит жесткость конструкции и уменьшит массу в сравнении с классическим станком. Прослеживается тенденция перехода от закрепления агрегатов на станину к монолитной конструкции несущего корпуса. Без каких-либо ограничений в единый механизм можно собрать все компоненты станка, включая электрошкаф, станцию СОЖ, систему привода. Происходит поглощение паразитного пространства между блоками, растет жесткость, снижается общая масса. Эффективным может оказаться сращивание нескольких станков в единый агломерат. Вполне естественна интеграция манипулятора в конструкцию станка. Робот обслуживает производственную деятельность станка, перестраивает его и ремон-

тирует. Наличие соседнего манипулятора позволяет роботам проводить собственные регламентные работы.

В масштабах участка станки могут сращиваться в трехмерном объеме. Для цеха актуальна интеграция оборудования с несущими конструкциями здания. Это сократит металлоемкость и обеспечит функциональность и мобильность не только станка, но и помещений. Грузовые и энергетические потоки можно размещать внутри оборудования, то есть интегрировать в общий монолит. Такая схема производства функционирует благодаря замене любого модуля. Работы выполняют интегрированные в станок манипуляторы. Благодаря модульности все операции состоят из простых монотонных действий. Система может быть перестроена в любую конфигурацию без ограничений. Это единый агломерат, динамично обновляющийся, в нем нет мертвых зон. Саморепликация становится формой существования модульного оборудования.

Сборка станин из модулей открывает путь к безлюдному производству. На примере станины расточного станка 2620 (рис. 16) декомпозиция корпуса позволяет вести сборку, оперируя элементами весом более 500 кг (стойка повернута на 90° для визуализации изображения).



18-я международная выставка-форум

ПРОМЫШЛЕННЫЙ САЛОН. МЕТАЛЛООБРАБОТКА

24-26
СЕНТЯБРЯ
2019



ВАШЕ
ОБОРУДОВАНИЕ
НАШИ
ПОКУПАТЕЛИ



Проведите переговоры со специалистами предприятий Поволжья и примите участие в выездных бизнес-встречах с вашими презентациями на территории крупнейших заводов Самары

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:



МИНИСТЕРСТВА
ПРОМЫШЛЕННОСТИ
И ТОРГОВЛИ
САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ



СОЮЗА
МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ
РОССИИ



АССОЦИАЦИИ
«СТАНКОИНСТРУМЕНТ»



ЭКСПО-ВОЛГА
организатор выставок с 1986 г.

г. Самара, ул. Мичурина, 23а
тел.: (846) 207-11-24
www.expo-volga.ru

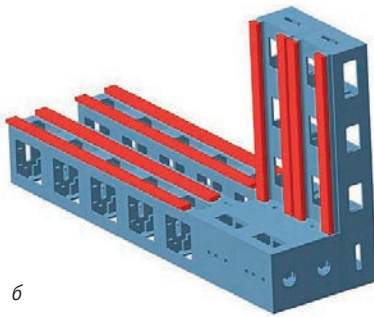
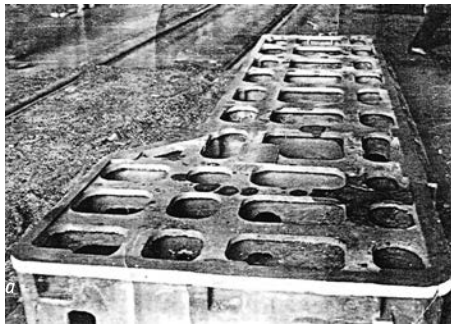


Рис. 16. Пример станины расточного станка 2620: а – отливка станины; б – модульная станина

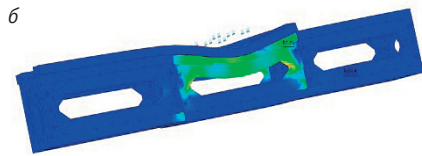
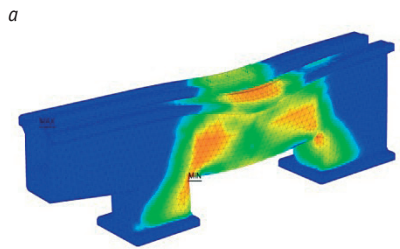


Рис. 17. Распределение коэффициента запаса прочности: а – для литой станины токарного станка; б – для модульной конструкции

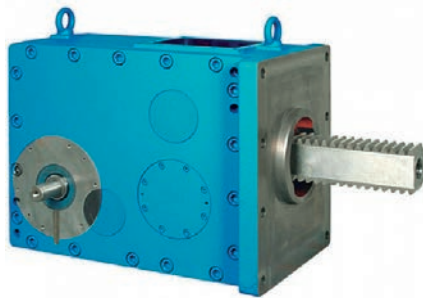


Рис. 18. Привод линейных перемещений фирмы Brevini

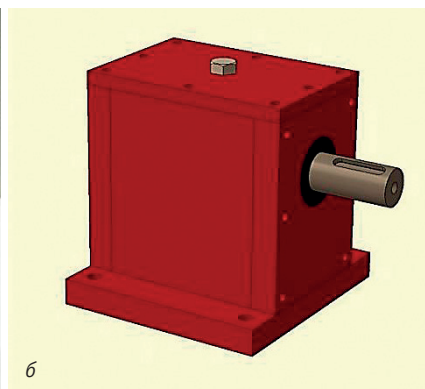
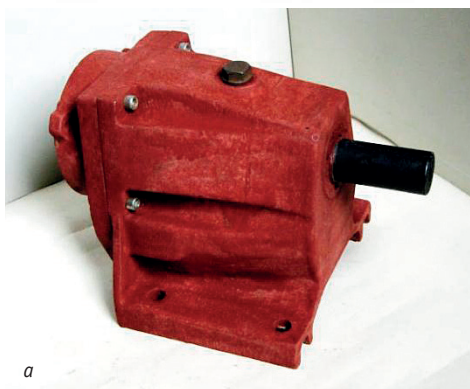


Рис. 19. Пример модульного исполнения мотор-редуктора: а – мотор-редуктор типа 3В-125; б – модульное исполнение привода

Модульное оборудование не уступает классическим моделям по параметрам масса/прочность [1]. Оценочные расчеты показывают, что поглощение модулями паразитных объемов между агрегатами приводит к повышению удельной прочности конструкции (рис. 17).

Станкостроение является одним из основных потребителей приводной техники. Как показывает опыт ведущих производителей, имеет место тенденция к упрощению конфигурации

отливки и сборки корпуса на штифты и винтовые соединения. В частности итальянская компания Brevini предлагает привод линейного перемещения в корпусе, состоящем из относительно простой отливки и плоских стенок (рис. 18).

Различные редукторы, мотор-редукторы, шпиндельные узлы базируются на корпусах, выполненных методом литья. Сложные фасонные отливки из чугуна или алюминия на протяжении веков были незыблемой частью привода. Переход на модульную конструкцию редуктора (рис. 19) позволяет полностью автоматизировать процесс производства. Открывается возможность выполнить исполнение редуктора с любым расположением лап крепления. Добавлять элементы крепления соседних узлов. Встраивать редуктор в оборудование без сборочных зазоров. Поглощение сборочных зазоров возможно благодаря сборке редуктора на месте в составе оборудования. Это, в свою очередь, позволяет создавать компактные конструкции, причем сборка проходит без участия человека. Робот манипулятор пристыковывает модули. На выходе получается монолитный агрегат. Такая технология особенно актуальна для транспортного машиностроения.

Модульное станкостроение открывает фантастические возможности промышленных систем [2]. Прежде всего, это автоматическое производство. Саморепликация оборудования и автономное обслуживание, недостающие звенья в цепи виртуальных машин и их твердых копий. Недооценивать значение модульной конструкции – значит повторить ошибку 60-х годов прошлого века. Когда

сотрудники физико-технического института имени А.Ф. Иоффе (под руководством Ж.И. Алфёрова) открыли гетероструктурные полупроводники, направление посчитали безнадежным делом. Сегодня лазеры и системы памяти в компьютерах, оптоволокно и светодиоды существуют благодаря открытию физтеха. Отечественные разработки стали достоянием зарубежных компаний. Ситуация с модульным станкостроением не терпит промедления. Осуществить прорыв в области производства – значит вывести промышленность из застоя и вернуть страну в мировые лидеры.

Автоматическое модульное производство обладает гибкостью, не требующей долгосрочного планирования. Мощности могут быть адаптированы под текущие задачи. Избыточное оборудование выведено в резерв. Недостающее сконфигурировано из имеющегося. Для человека такая задача не выполнима. Но это производство исключительно облачных технологий. Сервер способен поддерживать виртуальную модель, а станки – всего лишь продолжение выполнения программы. Модульное оборудование – это новый этап развития производства, это начало эпохи виртуальных машин.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Шевчук С.А. Чугун в станкостроении. Компания «Спутник». – М., 2007.
2. Ткаченко С.С., Емельянов В.О., Мартынов К.В. Модульное производство металлорежущих станков из унифицированных литых заготовок // Литейное производство». 2018. № 9.

ТКАЧЕНКО Станислав Степанович –

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

ЕМЕЛЬЯНОВ Вадим Олегович –

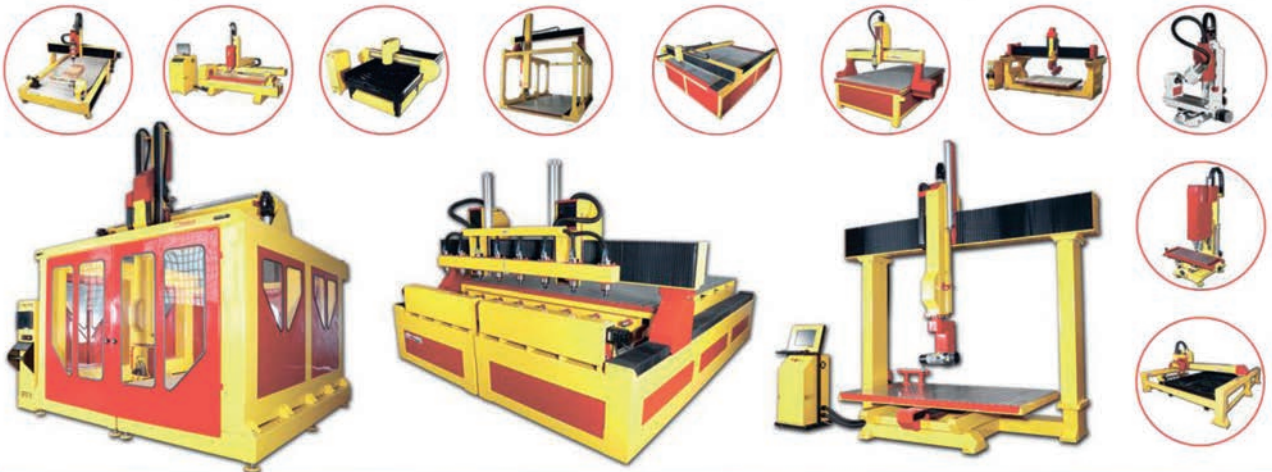
кандидат технических наук, заместитель руководителя филиала Российской академии художеств «Творческая мастерская «Литейный Двор» по научно-экспериментальным и научно-исследовательским работам

МАРТЫНОВ Константин Викторович –

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

КАМЕНСКИЙ СТАНКОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ЗАВОД «ТВАЙТ»

Станки ЧПУ • Фрезерные • Лазерные • Плазменной резки • Ювелирные • По пенопласту • Обрабатывающие центры



www.stanki-chpu.ru

8-800-775-46-07

ЗАВОД: +7(961)32-71-777, s7003777@gmail.com ОФИС-ВЫСТАВКА: г. Москва, +7(915) 06-95-777

Ростовская обл, г. Каменск-Шахтинский, ул. Винная, 4-А