

**Ключевые слова:**

литейное производство, литье в разовые формы, непрерывное литье, станкостроение, машиностроение, металлокомпозиаты

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ – НАДЕЖНАЯ ОСНОВА МОДУЛЬНОГО СТАНКОСТРОЕНИЯ

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

Изложена концепция отечественного модульного станкостроения на основе декомпозиции корпусных деталей оборудования. Рассмотрена возможность применения для изготовления конструкций и деталей из армированных композиционных материалов с металлической, полимерной или керамической матрицей.

«Будущее модульного производства сегодня точно не определено, но оно точно безгранично»

Возрастающие требования к повышению точности механообработки стимулируют производителей оборудования к поиску новых материалов, компонентов, комплектующих и конструкторских решений для создания оборудования нового поколения. Наблюдается активный переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам, способам конструирования станков в условиях формирования национальной цифровой экономики в русле принципов «Индустрии 4.0».

Особое внимание уделяется повышению жесткости конструкций, гашению вибраций, увеличению количества сенсоров для непрерывного мониторинга состояния оборудования, совершенствуются системы смазки, появляются новые компоновки станков, сочетающие как традиционные, так и нетрадиционные технологии.

Однако не следует забывать, что в основе любого обрабатывающего оборудования лежит в первую очередь качество исходных литейных компонентов и материалов для их изготовления. Разработка и применение высокоэффективных материалов является важнейшим фактором развития мировой индустрии. Современная теоретическая, экспериментальная и производственная базы позволяют

разрабатывать и изготавливать любые конструкции и детали из армированных композиционных материалов (КМ) с металлической, полимерной или керамической матрицей, что подтверждается растущим объемом применения композитов в мире. Развиваются прогрессивные литейные технологии, имеющие значительные преимущества по сравнению с рядом традиционных методов формообразования. Однако, рост объемов использования КМ пока еще не адекватен технико-эксплуатационным возможностям этих материалов.

Эволюция развития станкостроения показывает планомерное усовершенствование, повышение эксплуатационных требований и усложнение всех моделей металлообрабатывающего (МОО) и кузнечно-прессового (КПО) оборудования. В свою очередь, это ведет к повышению требований к базовым отливкам, как по физико-механическим требованиям (твердость, химический состав, микроструктура), так и по геометрической точности.

Эти параметры главным образом влияют на долговременное гарантированное сохранение точностных характеристик станка при мехобработке литых и кованных заготовок для изготовления ответственных изделий. В этом случае конструктор стремится повысить твердость чугуновых направляющих

до 200 НВ, выбирает легированные чугуны, вводит большое количество ребер для повышения прочности и жесткости, но это же приводит к ряду отрицательных моментов в процессе изготовления крупных отливок и при их эксплуатации.

Базовую отливку (станину, стойку, стол и др.) необходимо рассматривать как композиционную деталь: направляющие из легированных чугунов с низким углеродным эквивалентом (3,5–3,6), а корпусная часть из чугуна с высоким углеродным эквивалентом (4,1–4,3) (ОСТ2-МТ21-2-90), поскольку она должна обладать хорошей демпфирующей способностью. Таким образом, при создании различных элементов оборудования уже на стадии проектирования необходимо учитывать влияние материалов, из которых изготавливаются станочные компоненты, с целью уменьшения последующего рассогласования между исходным чертежом и получаемой деталью.

Латинское слово «композиция» соответствует русскому «составление». Слово «композиция» правомерно для различных типов промышленных изделий, но только в том случае, если объект (композиция) состоит из отдельных частей, которые сохраняют индивидуальность свойств, и связывающих их элементов. Благодаря этому формируются новые качества изделия, которые отсутствуют в отдельно взятых частях [1, 2].

Для большинства видов машиностроения детали изготавливаются из серого чугуна (74–76%), который, обладая высокими технологическими свойствами, не может обеспечить одновременно требуемые износостойкость и демпфирующую способность в литой детали.

Прошедшие 50–60 лет по отношению к ответственному машиностроению материаловедение характеризовались развитием исследований в области применения композиционных материалов на базе металлов, полимеров, а также технологий получения из них изделий с уникальным комплексом свойств. В настоящее время многие материаловеды приходят к мнению, что «... любой сплав по своей природе и строению фактически является композиционным материалом, а его оптимальные служебные свойства могут быть достигнуты лишь в том случае, когда в матрице данного сплава композитоупрочняющие частицы определенного размера распределены заданным образом» [3].

Анализ научно-технической информации, результаты исследований ряда авторов показывают ряд преимуществ металлокомпозитов (МКМ) и позволяют сделать вывод о необходимости более широкого их применения в станкостроении, так как антифрикционные МКМ характеризуются повышенной износостойкостью, несущей и демпфирующей спо-

собностью, возможностью снижения общей массы [4] и обеспечивают долговременное сохранение точностных параметров станка.

Конструкция базовых деталей станков достаточно сложна. Для изготовления под них литых заготовок требуется большое количество стержней, кроме того, необходимо иметь формовщиков-сборщиков высокой квалификации.

Идеальным материалом для МОО является серый чугун, обладающий комплексом положительных физико-химических и эксплуатационных свойств (литейные, триботехнические свойства и повышенная демпфирующая способность). Поэтому для долговременного сохранения гарантируемых точностных параметров станка конструктор назначает для цельнолитых базовых деталей серый чугун марки СЧ25 с твердостью направляющих не ниже 200 НВ. Но высокая твердость и демпфирующая способность несовместимы. Требования конструкторов выполнимы при условии изготовления цельнолитых корпусов базовых заготовок из чугуна с высоким углеродным коэффициентом, а направляющих – из высоколегированного чугуна, то есть необходимо использовать весьма сложный и трудоемкий процесс двухслойной заливки. Но даже при этом не всегда гарантирована возможность получения твердости не ниже 200 НВ.

Согласно исследованиям, проведенным в ЭНИИМС, для получения твердости 200 НВ и более в форму устанавливаются массивные холодильники, что приводит к появлению в структуре направляющих цементита и междендритного графита, а это отрицательно сказывается на соблюдении точностных характеристик при эксплуатации станков.

Кроме того, введение ребер в корпусные отливки для повышения жесткости приводит к усложнению литой заготовки, возникновению внутренних напряжений из-за разности толщин в местах сопряжения их с толстыми направляющими и основными стенками, что приводит к различной величине коробления (в лучшем случае его удается устранить за счет повышенных припусков или термообработки), трещинам и даже к полному разрушению (рис. 1). Этими исследованиями еще раз подтверждается правило, используемое в основном в вычислительной технике, которое гласит, что увеличение числа регулирующих компонентов не всегда приводит к повышению качества итогового изделия, а зачастую и наоборот.

Многолетний производственный опыт, статистический и экономический анализы производства крупных станочных (базовых) отливок показывает, что их изготовление приводит к резкому удорожанию металлорежущего станка и делает его неконкурентоспособным (рис. 1 и 2).



Рис. 1. Отливка стойки зубофрезерного станка, разрушенная в результате образования трещин, масса отливки 43 т

Это объясняется следующими факторами:

- сложность и длительность разработки литейно-модельной технологии высококвалифицированными технологами (в настоящее время их практически нет);
- длительность изготовления модельных комплектов (6–8 мес.);
- большой расход хорошо высушенной качественной древесины (только для изготовления модельной оснастки станины и двух стоек станка 2А470 требуется 65 куб. м древесины);
- высокие логистические затраты за доставку модельной оснастки от изготовителя в литейный цех;
- длительная задолженность формовочных и стержневых площадей (для подобных отливок требуется 50–60 стержней), готовые стержни передаются на формовочный участок для сборки формы, где они тоже занимают определенные площади перед сборкой.

Наконец собрали и залили форму. Отливка станины станка 2А470 весит 30 т. По технологическо-

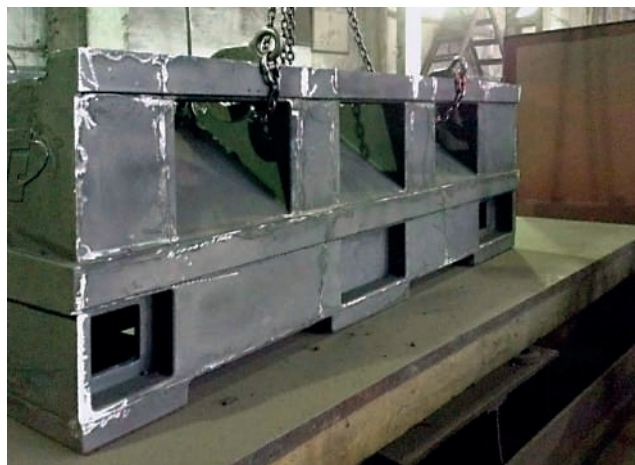


Рис. 2. Цельнолитая станина

му регламенту она должна находиться в форме 10 суток, рабочая площадь не используется и это приводит к удорожанию продукции. Но и это еще не все – если через 10 суток ее извлекли из формы, а она по какой-то причине треснула, то процесс начинается сначала.

В обрубке она пролежит двое суток, охлаждаясь до 30°С. Затем потребуется неделя для проведения всех финишных операций. Для снятия напряжений все станины и стойки подвергаются низкотемпературному отжигу при температуре 500–550 °С, это еще двое суток, после чего отливка поступает в механический цех, где могут вскрыться раковины на направляющих, которые невозможно исправить.

На смену традиционной технологии получения цельнолитых чугуновых корпусных отливок для станкостроения в ближайшее время закономерно должна прийти технология изготовления их из простых (бесстержневых) унифицированных композиционных литых заготовок, которые можно изготавливать в массовом порядке на механизированных и автоматических формовочных линиях. В этом случае, у станкостроителей появятся возможности по снижению материалоемкости металлообрабатывающих агрегатов, трудовых затрат и, естественно, значительного сокращения сроков изготовления новых станков.

Поэтому мы глубоко убеждены, что в настоящее время нужно смелее переходить к системной разработке конструкций модульных станков из унифицированных литых заготовок. При этом, необходимо произвести декомпозицию сложных изделий (станин, стоек и т.п.) на элементы простой конфигурации и меньшего веса.

Детали следует выполнять унифицированными для возможности сборки различных базовых узлов станка. Литых заготовок будет больше, но для автоматического производства это посильная задача. На примере станины токарного станка (рис. 3) было показано, что сборная конструкция превосходит литую по прочности и меньше весом [2].

Производство тяжелых крупногабаритных отливок для станков всегда, а в последнее время особенно, было убыточно и значительно повышало себестоимость продукции единичного производства.

Концепция производства модульного крупного МОО из унифицированных литых заготовок призвана удешевить и максимально автоматизировать процесс производства станочного литья. Формы для отливок становятся простыми, без стержней и могут быть выполнены на механизированных и автоматических формовочных линиях [5].

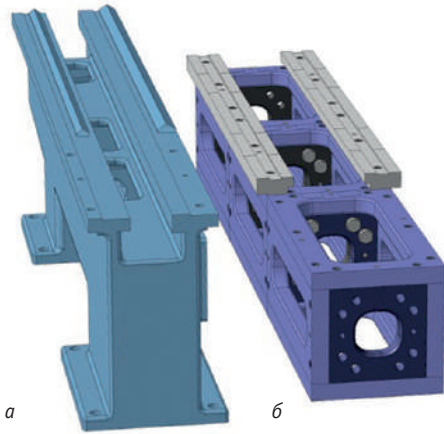


Рис. 3. Пример сложной отливки: а – литая станина токарного станка; б – модульная конструкция станины токарного станка

Более реалистичным выглядит использование непрерывнолитых заготовок в качестве сборочных элементов (направляющие, опорные и другие детали). Номенклатура стального, чугунного и цветного непрерывного литья может быть достаточно широкой. Возможно использование как элементов сечения, так и протяженных заготовок. На этой основе можно составить перечень унифицированных деталей (Унд). В этом случае появляется возможность эффективного контроля качества каждого сборочного элемента, поскольку Унд не является новым видом заготовок.

Наличие дешевых заготовок позволяет в полной мере реализовать концепцию «оборудование как расходный материал». Проектирование и изготовление станин на основе Унд существенно отличается от общепринятой схемы. Проект может быть реализован под отдельную деталь, с последующим использованием элементов Унд для композиции другого станка под другую деталь.

Технолог задает область перемещения инструмента и движение заготовки, конструктор оборудования формирует из Унд путь для заданных перемещений. Индивидуальную станину можно собирать сразу, имея запас Унд. Происходит существенная систематизация инженерной работы, с последующим переходом к компьютерному проектированию.

Проектирование и сборку станков возможно осуществлять прямо на механообрабатывающих предприятиях – под собственные нужды. Причем монтаж, демонтаж, реконструирование и сборку станка для иного вида работ возможно осуществлять на рабочей площадке демонтированного станка. Ремонт оборудования остается в прошлом. Ресурс станка известен, при износе или окончании производственной программы оборудование частично

идет на утилизацию, а несущие конструкции возвращаются для использования при производстве новых станков.

Эффективность от внедрения Унд значительно возрастет, если подобная идеология затронет остальные отрасли машиностроения, судостроения и транспорт.

Производство Унд на автоматических формовочных линиях (АФЛ) и установках непрерывного литья – это высокая производительность, наименьший передел сырья и весьма ощутимое энергосбережение. Кроме того, использование Унд позволит организовать контроль состояния каждого элемента сборной конструкции, что особенно важно для высокоточных станков. Классические технологии останутся лишь для ремонта старого оборудования и завершения начатых проектов. Литейное производство, подобно птице Феникс, должно возродиться на принципиально новой основе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Достижения в области композиционных материалов // Сб. под ред. Дж. Пиатти; пер. с англ. М.Ю. Матвеева. М.: Металлургия, 1982.
2. Оболенцев Ф.Д. Физико-химия и технология композиционного литья. Одесса: ОПИ, 1984.
3. Патон Б.Е. Специальная электрометаллургия, 2003.
4. Найдек В.Л. Процессы литья, 1997.
5. Ткаченко С.С., Емельянов В.О., Мартынов К.В. Обоснование необходимости модульного производства базовых деталей станков // Металлургия машиностроения. 2019. № 2.

ТКАЧЕНКО Станислав Степанович –

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

ЕМЕЛЬЯНОВ Вадим Олегович –

кандидат технических наук, заместитель руководителя мастерской Филиала Российской академии художеств «Творческая Мастерская „Литейный Двор“»

МАРТЫНОВ Константин Викторович –

кандидат технических наук, заместитель руководителя мастерской Филиала Российской академии художеств «Творческая Мастерская „Литейный Двор“»

ЯНТОВСКИЙ Александр Викторович –

генеральный директор ООО «Техстанко-21»