

**В.Д. КОВАЛЕВ**, д-р. техн. наук, профессор, ДГМА, Краматорск;  
**А.В. ПОНОМАРЕНКО**, канд. техн. наук, ассистент, ДГМА, Краматорск;  
**М.С. МЕЛЬНИК**, канд. техн. наук, ст. преподаватель,  
ДГМА, Краматорск

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СВАРНЫХ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ТЯЖЕЛЫХ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ ПОВЫШЕННОЙ ТОЧНОСТИ**

У роботі розглянуті основні етапи проектування й аналізу конструкції важкого токарного верстата вантажопідйомністю понад 100 т. Наведений порівняльний аналіз експериментальних даних отриманих у виробничих умовах при випробуванні однієї секції станини та експериментальних даних отриманих у процесі моделювання. Зроблені висновки про доцільність застосування зварених станин для важких токарських верстатів з можливістю обробки деталей довжиною до 12 м.

В работе рассмотрены основные этапы проектирования и анализа конструкции тяжелого токарного станка грузоподъемностью свыше 100 т. Приведен сравнительный анализ экспериментальных данных, полученных в производственных условиях при испытании одной секции станины и экспериментальных данных, полученных в процессе моделирования. Сделаны выводы о целесообразности применения сварных станин для тяжелых токарных станков с возможностью обработки деталей длиной до 12 м.

In the article the main stages of the design and analysis of the heavy lathe design with capacity over 100 tons are discussed. The comparative analysis of experimental data obtained under production conditions in the one section test and of the experimental data obtained in the simulation process. The conclusions about the appropriateness of welded housings for heavy lathes with the possibility of machining of parts up to 12 m are made.

**Введение.** Тяжелые токарные станки с числовым программным управлением применяются преимущественно для обработки ответственных и дорогостоящих деталей, таких как прокатные валки, роторы турбин, корабельные гребные валы и т.п., жесткие требования к точности изготовления которых определяются их служебным назначением. Поэтому повышение технических характеристик тяжелых токарных станков при сохранении или снижении их себестоимости является актуальной задачей для обеспечения конкурентоспособности, как самих станков, так и выпускаемой с их помощью продукции.

К любому процессу обработки предъявляется два основных требования – производительность и точность получаемого размера. Соответственно, и оборудование, применяемое при данном процессе, должно иметь достаточную точность, жесткость, мощность и скорость. Причем точность, как и во многих подобных задачах, имеет приоритет над производительностью, поскольку быстро и дешево, но неточно изготовленная

деталь не может в полной мере выполнять свое служебное назначение, и не позволяет в итоге достичь исходной цели создания машины.

На точностные характеристики обработки влияет множество взаимозависимых факторов. Для тяжелых станков наибольшее значение имеют следующие группы погрешностей:

- геометрические погрешности;
- упругие деформации, связанные с жесткостью технологической системы;
- контактные деформации в подвижных и неподвижных соединениях;
- температурные деформации;
- погрешности, связанные с износом инструмента;
- погрешности позиционирования в приводах подачи и в системе управления.

Обычно рассматривают три способа достижения заданной точности:

- повышение качества технологической системы за счет повышения ее жесткости, прочности, качества изготовления, температурной стабильности, износостойкости, виброустойчивости и т. д.;
- подавление действующих негативных факторов за счет введения более «мягких» режимов резания;
- коррекция вредных воздействий за счет управления отдельными параметрами технологической системы.

В последнем случае при разработке соответствующей системы управления неизбежно возникает задача выбора совокупности управляемых параметров станка для максимально эффективного улучшения его эксплуатационных характеристик.

### **Постановка задачи и актуальность исследования**

Основной проблемой при производстве тяжелых токарных станков является изготовления крупногабаритных базовых деталей, к которым предъявляются повышенные требования точности и сохранения исходных параметров формы. При производстве базовые детали станков, основным видом которых является станины, применяется литейный чугун. Основными технологическими условиями производства конструкций таких станин, являются: простота изготовления моделей и стержней и простота формовки; получение здоровой отливки без литейных пороков и высоких остаточных напряжений; удобство очистки литья. Вышеперечисленные условия создают значительные трудности при изготовлении крупногабаритных станин тяжелых токарных станков, основными из которых является: сложность получения отливки с постоянством свойств материала во всем объеме отливки; сложность получения тонкостенных перегородок, что значительно увеличивает металлоемкость; невозможность контроля возникновения брака

в процессе производства; высокая сложность исправления дефектов производства.

По сравнению с литыми, применение сварных конструкций становится все более эффективно, особенно для деталей, размеры которых в значительной степени определяются допустимыми прогибами от собственного веса.

К достоинствам сварных станин по сравнению с литыми чугунными относятся: меньший (до 2 раз) вес вследствие большего модуля упругости стали, чем чугуна, и возможности применения более совершенных с точки зрения жесткости форм; меньшая трудоемкость механической обработки; в) возможность исправления дефектов конструкций (вырезания окон, приварки ребер); ускорение процесса производства, в следствии чего повышается конкурентоспособность изготавливаемого станка. Сварные станины, имеющие одинаковые с литыми габариты сечений, при меньшем, чем у литых, весе могут быть выполнены более высокой жесткости, а демпфирующая способность стальных сварных станин близка к демпфирующей способности чугунных вследствие повышенного рассеяния энергии в местах контакта сваренных элементов.

Поэтому было решено при производстве станка грузоподъемностью свыше 100 т с возможностью обработки деталей длиной до 6000 мм использовать сварную сборную многосекционную станину.

Жесткость упругой системы станка определяется собственными деформациями элементов несущей системы станин и корпусных деталей и контактными деформациями в сопряжениях. Так как корпусные детали имеют весьма сложную конструктивную форму и находятся под действием пространственной нагрузки, произвести точный расчет этих деталей не представляется возможным. Поэтому был предложен имитационный расчет в САЕ пакете с последующей проверкой адекватности при натурных испытаниях одной секции.

### **Основная часть**

На первом этапе работы был произведен анализ конструкций литых станин производства ОАО КЗТС, основные параметры и геометрические размеры которых приведены в таблице. После чего были проанализированы различные конструкции (сварные, литые) зарубежных производителей станочного оборудования: ОАО РТЗ, ПО «Коломенский ЗТС», СП «Skoda-Ульяновск»; Skoda Machine Tool (Чехия); Waldrich Coburg и Waldrich Siegen (Германия); TACСНI (Италия).

Второй этап заключался в разработке компоновочной схемы станины (рис. 1). При проектировании новой конструкции сварной станины было принято четырех полочную конструкцию. Такая конструкция обеспечивает

универсальность конфигурации станка, которая значительно позволяет расширить номенклатуру крупногабаритных обрабатываемых деталей.

Для обеспечения экономии металла, и в соответствии с условием размещения зоны обработки на удобном для рабочего уровне от пола, станину тяжелого токарного станка устанавливаются на индивидуальные фундаменты конструируются из условия совместной работы с фундаментом. Поэтому конструкцию станины станка выполняем с минимально допустимой высоты, в этом случае жесткость системы станина-фундамент определяется жесткостью фундамента, и станина работает в условиях, близких к условиям работы плит.

В виду того, что станок обрабатывает детали длиной до 12 м места под главным приводом подливаются и притягиваются болтами, а в остальной части станины, во избежание больших температурных деформаций и деформаций от проседания фундамента, устанавливаются на регулируемых башмаках и притягиваются болтами без подливки основания.

В связи с большими поперечными нагрузками особенно большую роль в общем балансе упругих перемещений играет отгиб направляющих. Поэтому в разработанной конструкции уделено особое внимание жесткости соединения направляющих со стенками. Форма толстостенной сварной станины принципиально тождественна формы литой (рис. 2). Ребра жесткости выполняют в виде конструкций коробчатого типа с замкнутым контуром поперечного сечения (рис. 1).

В связи с тем, что основной задачей при конструировании и изготовлении сварных станин, является уменьшение сварочных деформаций, была применена конструкция с симметричными сечениями и симметричным расположением швов, с одновременным обеспечением условия, чтобы сумма моментов объемов наплавленного металла относительно оси, проходящей через центры тяжести сечений, была бы близкой или равной нулю.

Уменьшение сварочных деформаций достигнуто также общим повышением жесткости конструкции введением дополнительных распорных элементов.

После проработки схемы была создана твердотельная модель четырехполочной составной станины (длина одной секции 4000 мм) для перемещения суппорта и задней бабки (рис.3).

На третьем этапе исследования была проведена проверка адекватности результатов компьютерного моделирования с данными полученными в ходе натуральных испытаний.

Основным условием работоспособности направляющих являются действующие на них давления. При их расчете суппорт, задняя бабка и люнеты перемещаемые по направляющим рассматривались как балки или плиты на упругом основании. Это позволило установить распределение давлений по длине направляющих. Расчет по наибольшим давлениям позволяет оценить истинные условия работы направляющих, влияние

жесткости перемещающихся деталей и вида их нагружения. Допустимые давления установлены на основе опыта эксплуатации тяжелых станков, а также данных приемочных испытаний.

Таблица – Основные характеристики и геометрические размеры типовых станин тяжелых токарных станков выпускаемых ОАО КЗТС

Модель станка	Наибольший диаметр обработки над станиной	Расстояние между центрами	Наибольшее усилие резания одним суппортом, кН	Количество суппортов	Масса станка (без электрооборудования), т	Наибольшая масса обрабатываемого изделия, т	Параметры станины				
							Масса, т	$B$ , мм	$B_1$ , мм	$H$ , мм	Длина, м
1A660	1250	6300	100	1	35,0	25,0	12,6	1260	1140	680	10,5
1A665	1600	8000	120	2	51,0	40,0	22,3	1850	1730	620	12,8
1A670	2000	10000	125	2	102,0	63	40,4	2240	1940	710	15,9
1A675	2500	12500	125	2	144,0	100,0	100	2840	2560	710	18,6

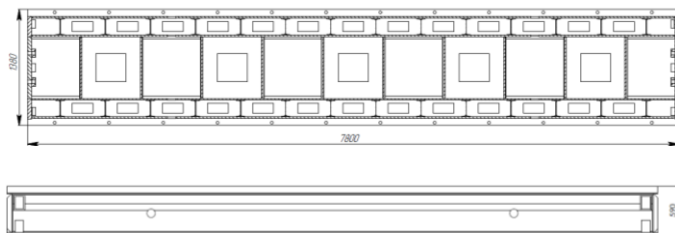
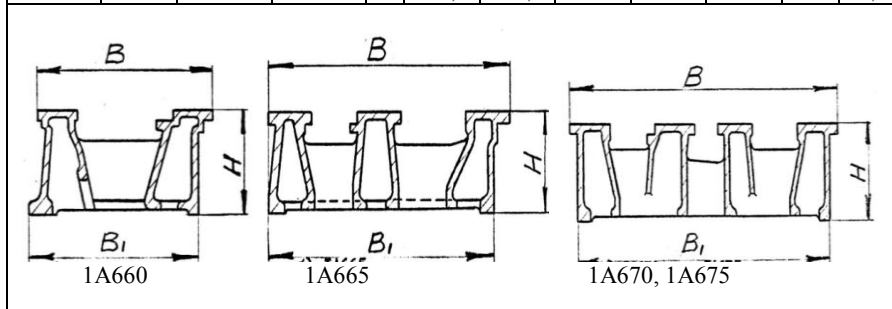


Рисунок 1 – Компонировочная схема станины

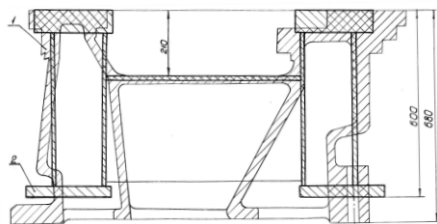


Рисунок 2 – Наложение сечений станин



Рисунок 3 – Твердотельная модель станины тяжелого токарного станка

На третьем этапе исследования была проведена проверка адекватности результатов компьютерного моделирования с данными полученными в ходе натуральных испытаний.

Основным условием работоспособности направляющих являются действующие на них давления. При их расчете суппорт, задняя бабка и люнеты перемещаемые по направляющим рассматривались как балки или плиты на упругом основании. Это позволило установить распределение давлений по длине направляющих. Расчет по наибольшим давлениям позволяет оценить истинные условия работы направляющих, влияние жесткости перемещающихся деталей и вида их нагружения. Допустимые давления установлены на основе опыта эксплуатации тяжелых станков, а также данных приемочных испытаний.

При обработке изделия на токарном станке на вертикальные полки направляющих станины действует радиальная составляющая силы резания. Для проверки жесткости станины в этом направлении к двум соседним вертикальным полкам направляющих станины станка прикладывалась разжимающая нагрузка как показано на рис. 4, 5.

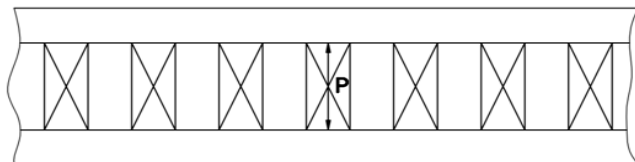


Рисунок 4 – Схема разжима полков сварной станины суппортов станка

Для сравнительного анализа результатов натурных испытаний сварной станины с результатами компьютерного моделирования была использована методика приемки базовых конструкций ВАТ КЗВВ. Разжим полок по поперечной связи производился усилием  $P=50 \text{ кН}$ , с помощью домкрата с динамометром. Измерение перемещений проводилось по струне с одной стороны секции (рис. 6).

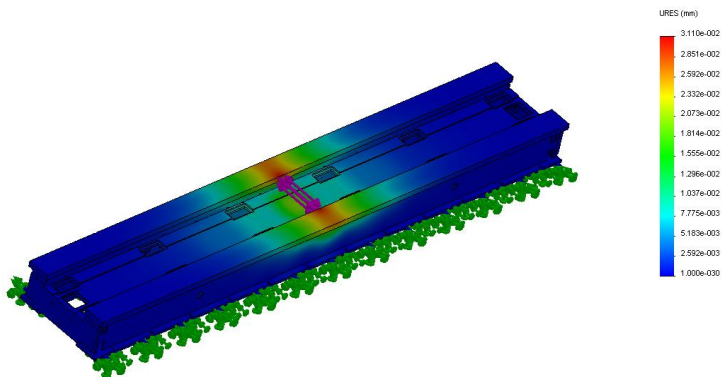


Рисунок 5 – Результаты моделирования разжима полок сварной станины суппортов станка в пакете конечно-элементного анализа

Измерение деформации полок секции станины относительно, ее концов производилось при помощи струны и углового штатива с микроскопом с 10 кратным увеличением. При этом деформация полок вычислялась как разница отклонений от прямолинейности в соответствующих точках вертикальных полок до приложения нагрузки и после приложения нагрузки.

Конечная точность приближенных расчетов по выбранной схеме оценивалась сравнением результатов расчетов и экспериментов на реальных станках при статическом нагружении, соответствующем нормальному нагружению их при резании.

Для оценки вклада контактных деформаций в общую жесткость станка были проведены исследования жесткости технологической системы для двух станков: мод. 1А660Ф3 (на первом году эксплуатации) и мод. 1А64 (со степенью износа близкой к максимально допустимой по нормам точности).

Контактные деформации для реальных конструкций существенно нелинейны, и деформации, измеренные для больших усилий и пропорционально пересчитанные для усилий чистового режима, либо просто рассчитанные по известной жесткости станка, будут некорректны. Следовательно оценку значения упругих деформаций следует проводить в условиях, соответствующих чистовой обработке.

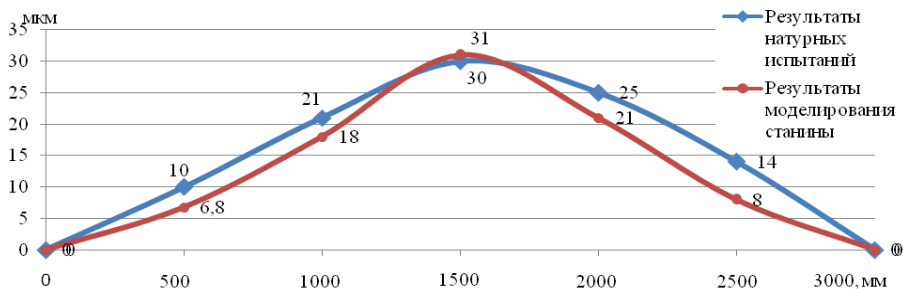


Рисунок 6 – Сравнительный анализ результатов натуральных испытаний сварной станины с результатами компьютерного моделирования

Измерение упругих деформаций производилось для направления поперечной подачи с усилиями 300...400 Н, соответствующих режиму чистовой обработки конструкционной стали:  $t = 1...1,5$  мм,  $s = 0,15$  мм,  $v = 100$  м/мин. Эксперимент выполнялся следующим образом. В станок устанавливалась оправка  $\varnothing 350$  мм и длиной 2000 мм (расчетный собственный прогиб при нагружении по центру усилием 400 Н составляет 0,43 мкм), между оправкой и резцедержкой устанавливалось винтовое нагрузочное устройство, кольцевой динамометр и индикатор часового типа с ценой деления 1 мкм.

Перемещением салазок поперечной подачи от ручного маховичка между оправкой, резцедержкой и приборами выбирался зазор, в индикаторе создавался натяг 1...1,5 мм, затем с помощью нагрузочного устройства между суппортом и оправкой создавалось усилие 800...1000 Н в течении 15...30 секунд для выдавливания смазки из направляющих, после чего нагрузка снималась и в этом положении микронная шкала индикатора устанавливалась на ноль. После этого создавалось усилие 400 Н, и снимался отсчет по индикатору.

Измерения проводились в трех точках на расстояниях 200 мм, 1000 мм и 2000 мм от планшайбы. Упругие деформации для этих трех точек составили для станка мод. 1А660Ф3 – 2 мкм, 3 мкм, 2 мкм соответственно, а для станка мод. 1А64 – 10 мкм, 6 мкм и 3 мкм соответственно. Во втором случае логично предположить, что на общую деформацию при измерении у передней бабки существенное влияние оказывают контактные деформации на плохо прилегающих поверхностях направляющих, что обусловлено их износом. Среднестатистически на универсальных станках большой длины



суппорт работает преимущественно в зоне у передней бабки, следовательно, и износ в этой зоне максимален. Таким образом, суммарная жесткость станины и суппортной группы на малых нагрузках составляет 10...20 Н/мкм, что на несколько порядков меньше собственной жесткости станины при максимальных нагрузках (1000...1500 Н/мкм), и к тому же со временем усугубляется вследствие износа. Следовательно и в этом отношении сварные стальные станины имеют преимущество перед чугунными, как более износостойкие и позволяющие достичь лучшего качества обработки направляющих.

### **Выводы**

1. Результаты разработанного и проверенного на моделях расчета упрощенных систем распространяются на реальные конструкции – принимается, что элементы правильной формы, образующие упрощенную систему, имеют те же геометрические характеристики сечений, что и соответствующие элементы реальных систем. Возможность такого распространения проверена сравнением результатов расчетов и экспериментов над реальными конструкциями при схемах нагружения, по возможности более точно соответствующих принятым при расчете.

2. На малых нагрузках, соответствующих чистовым режимам работы, кроме геометрических погрешностей, главной проблемой являются контактные деформации в направляющих и стыках, которые при эксплуатации могут увеличиться в несколько раз вследствие износа.

3. Стальные сварные станины обеспечивают лучшие показатели по металлоемкости, жесткости, качеству поверхности направляющих и износостойкости по сравнению с литыми чугунными станинами.

**Список литературы:** 1. Решетов Д.Н. Детали и механизмы металлорежущих станков. Шпиндели и их опоры механизмы и детали приводов (том 1) / Д.Н. Решетов, В.В. Каминская, А.С. Липидус, и др. – М.: Машиностроение, 1972. – 520 С. 2. Решетов Д.Н. Точность металлорежущих станков / Д.Н. Решетов, В.Т. Портман. – М.: Машиностроение, 1986. – 336 с. 3. Проников А. С. Программный метод испытания металлорежущих станков. / А. С. Проников. – М.: Машиностроение, 1985. – 288 с. 4. Проников А. С. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем / под ред. А. С. Пронникова. – М.: Машиностроение, 1995. – том 2 часть II. – 320 с.

*Надійшла до редколегії 29.09.2010*