

**ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КАРЕТКИ СУППОРТА
ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНОГО СТАНКА ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ**© 2024 М.В. Якимов¹, А.Ф. Денисенко¹, Е. В. Лопатин²¹ Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия² ООО «Средневожский станкозавод», г. Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 26.06.2024

Актуальность модернизации металлорежущего оборудования вызывается требованиями улучшения эксплуатационных характеристик и необходимостью поддержания стоимости предлагаемых станков на определенном уровне, несмотря на инфляционные процессы. Причем второе направление не должно сопровождаться ухудшением качества станков. Поэтому реализовать его можно только снижением себестоимости изготовления и, в первую очередь, за счет повышения технологичности конструкции. Это направление особенно актуально для универсального металлорежущего оборудования, в том числе для токарно-винторезных станков отечественного производства, потребность в которых для оснащения небольших металлообрабатывающих предприятий весьма высока в связи с тем, что они являются поставщиками многономенклатурных комплектующих для предприятий автомобильного, авиационного и оборонного кластеров. В статье рассматриваются возможные изменения в конструкции каретки суппорта токарно-винторезного станка. Сложность формы каретки и многообразие действующих силовых факторов требуют обоснованного подтверждения сохранения высоких эксплуатационных характеристик, в частности, прочностных и жесткостных. Решение поставленной задачи с использованием аналитических или эмпирических зависимостей без существенного упрощения расчетных моделей не представляется возможным. Поэтому было использовано численное моделирование с применением метода конечных элементов в системе Ansys Workbench 2021. Описано построение расчетной модели и рассмотрены этапы проведения численного эксперимента. Необходимость оценки предлагаемых конструкторских изменений, повышающих технологичность каретки, и вариативность силовых факторов потребовали рассмотрения 18 численных экспериментов, отличающихся условиями проведения. По результатам расчета определялись максимальные суммарные деформации и эквивалентные напряжения по Мизесу. Исследования показали, что предлагаемые изменения в конструкции каретки не приводят к ее ослаблению, так как места расположения максимальных напряжений достаточно удалены от зон, с которых были убраны элементы, ухудшающие технологичность.

Ключевые слова: токарно-винторезный станок, каретка суппорта, технологичность конструкции, численное моделирование, силовые факторы, упругие деформации, эквивалентные напряжения по Мизесу.

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-4(2)-229-236

EDN: NIETIZ

ВВЕДЕНИЕ

Современная металлообрабатывающая промышленность наряду с широким использованием многофункционального оборудования с программным управлением испытывает острый дефицит в универсальных металлорежущих станках. Это связано с тем, что, несмотря на концентрацию значительной части металлообработки на крупных машиностроительных предприятиях, в том числе автомобильного, авиационного

и оборонного кластеров, ряд оборудования сосредоточен на небольших предприятиях, выпускающих комплектующие изделия широкой номенклатуры. Однако, эти предприятия не могут в силу высокой стоимости оборудования с ЧПУ, сложности его эксплуатационного обслуживания и высокой кредитной банковской ставки, сосредоточить производство только на оборудовании с программным управлением. Это заставляет немногочисленные отечественные предприятия, выпускающие металлорежущее оборудование, наращивать выпуск универсальных станков, в том числе за счет повышения технологичности [1]. Однако, зачастую, в предлагаемых изменениях в конструкции узлов и механизмов станков преобладает технологическая и экономическая составляющие, без учета влияния предлагаемых изменений на будущие эксплуатационные характеристики. Сокращение сроков проектирования станочного оборудования и необходимость про-

Якимов Михаил Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения, станки и инструменты». E-mail: miyu@yandex.ru

Денисенко Александр Федорович, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения, станки и инструменты».

E-mail: sammortor@yandex.ru

Лопатин Евгений Васильевич, руководитель конструкторско-технологического центра. E-mail: le@svsz.ru

гнозирования последствий проектного решения на стадии его принятия заставляют в максимальной степени использовать возможности математического моделирования [2-4]. Современные возможности информационных технологий, используемых в проектировании, которые реализованы в программных комплексах САД-систем (Computer-Aided Design), предназначенных для автоматизации процесса проектирования, и САЕ-систем (Computer-Aided Engineering), позволяющих моделировать разнообразные физические процессы, дают возможность еще на этапе проектирования оценить создаваемую конструкцию по ряду критериев. Среди указанных критериев важнейшими являются прочностной и жесткостной [5-8]. Важность этих критериев определяется необходимостью обеспечить в создаваемой конструкции как функциональную, так и параметрическую надежность.

Таким образом, целью проводимых исследований является повышение технологичность конструкции каретки универсального токарно-винторезного станка с обеспечением максимально возможной жесткости и необходимой прочности.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования является каретка универсального токарно-винторезного станка мод. 16Б16П, 3-D модель которой с удерживающими планками и угольниками, размещенная на станине, показана на рис. 1.

Достижение поставленной цели аналитическими методами без внесения существенных упрощений в конструкцию не представляется возможным, так как каретка имеет сложную форму и является промежуточной базовой деталью в цепи от заготовки к инструменту, в связи с чем условия ее работы определяются значительным числом факторов. Поэтому решение данной задачи возможно с использованием метода конечных элементов (МКЭ), реализуемого в виде пакетов прикладных программ для ЭВМ.

В проектировании станков накоплен достаточный опыт использования КЭ-моделирования для проведения численного моделирования [9, 10]. Особенно это актуально для проектирования базовых деталей, отличающихся значительными размерами и сложной формой [11-13].

Моделирование деформированного состояния каретки станка выполнялось в соответствии со следующим алгоритмом: формулирование допущений; построение геометрической виртуальной модели в «Компас 3D», которая максимально совпадает по форме и размерам с реальной кареткой; импортирование модели в САЕ систему Ansys Workbench 2021; разработка расчетной модели путем разбиения геометрической модели сеткой КЭ; назначение исходных параметров модели, в частности, закреплений модели и приложения внешних воздействий; выполнение расчета; анализ полученных результатов.

Повышение технологичности каретки предлагается реализовать за счет исключения из конструкции ребер жесткости и «пятки» (рис. 2) и замены удерживающих планок угольниками новой конструкции.

Расчетная 3D - модель базовой конструкции каретки включает в себя каретку, удерживающие планки и часть станины (угольники исключены из расчета, так как не препятствуют опрокидыванию каретки вперед).

Целью численного моделирования является оценка напряженно-деформированного состояния трех геометрических моделей: 1) базовая каретка; 2) каретка без ребер жесткости; 3) каретка без ребер жесткости и пятки (рис. 3) с заменой удерживающих планок угольниками новой конструкции под действием весовых факторов, силы резания и тяговой силы от привода подачи. Сравнение проводилось по значениям максимальных суммарных деформаций и эквивалентных напряжений по Мизесу.

Рассматривался ряд силовых факторов при моделировании.

Масса фартука: два варианта конструкции массой 60 и 92 кг. Фартук массой 60 кг имеет стандарт-

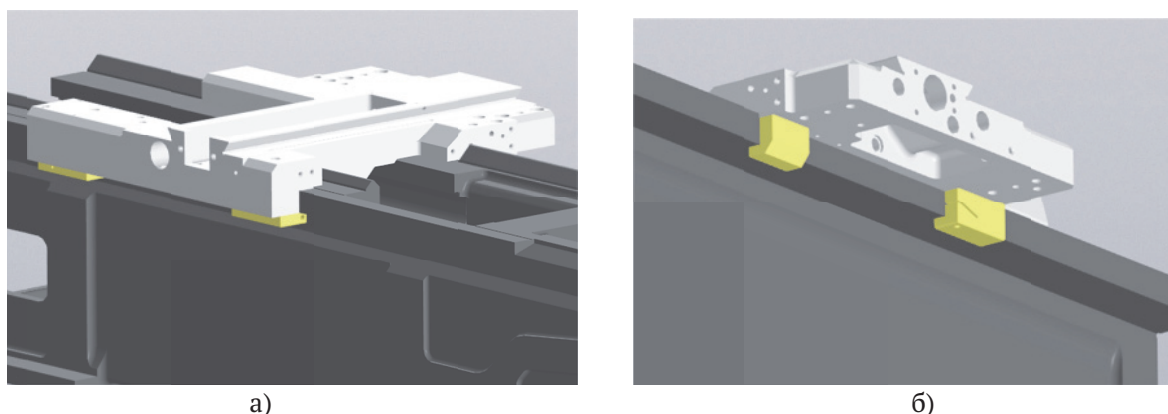


Рис. 1. 3-D модель каретки:
а) вид над задней направляющей; б) вид над передней направляющей

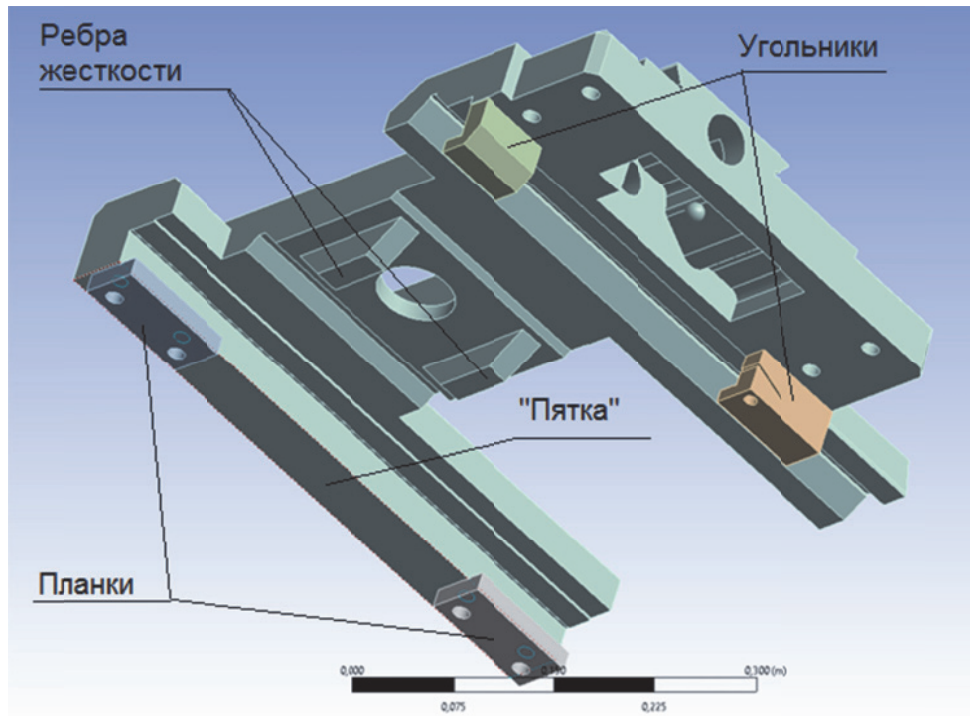


Рис. 2. Элементы конструкции каретки, подвергаемые изменению для повышения технологичности

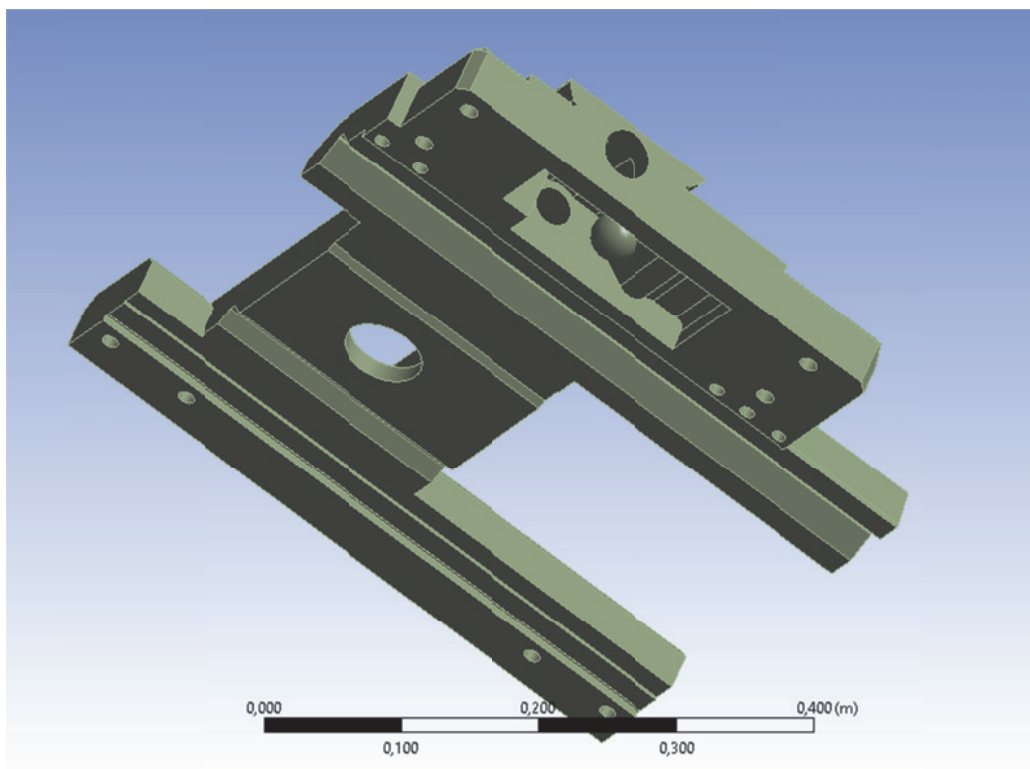


Рис. 3. Модель каретки после модернизации

ную конструкцию для универсального токарного станка, у фартука массой 92 кг изменена конструкция корпуса, на котором крепится электродвигатель быстрых перемещений с обгонной муфтой.

Составляющие силы резания, характерной для черновой обработки заготовки диаметром 180 мм (максимальный диаметр обработки над суппортом): $P_{\text{тангенц.}} = 9809$ Н;

$P_{\text{радиал.}} = 4904$ Н; $P_{\text{осев.}} = 2943$ Н.

Тяговая сила от реечной передачи привода подачи, равная осевой составляющей силы резания: $P_{\text{осев.}} = 2943$ Н.

Анализ проводился для статического состояния каретки.

В общей сложности было выполнено 18 численных экспериментов (табл. 1).

Таблица 1. Условия проведения численных экспериментов

Вариант численного эксперимента	Наличие ребер жесткости	Наличие "пятки"	Наличие силы резания	Наличие тяговой силы	Масса фартука 60 кг	Масса фартука 92 кг
1	+	+	-	-	+	-
2	-	+	-	-	+	-
3	-	-	-	-	+	-
4	+	+	-	-	-	+
5	-	+	-	-	-	+
6	-	-	-	-	-	+
7	+	+	+	-	+	-
8	-	+	+	-	+	-
9	-	-	+	-	+	-
10	+	+	+	-	-	+
11	-	+	+	-	-	+
12	-	-	+	-	-	+
13	+	+	+	+	+	-
14	-	+	+	+	+	-
15	-	-	+	+	+	-
16	+	+	+	+	-	+
17	-	+	+	+	-	+
18	-	-	+	+	-	+

В расчетах путем назначения контактной пары с трением принимались во внимание контактные взаимодействия между кареткой и направляющими станины: коэффициент трения - 0,1 (чугун-чугун), а также между планками (угольниками) и станиной: коэффициент трения - 0,17 (сталь-чугун).

Масса фартука реализована инструментом «Сосредоточенная масса» (PointMass) и прикладывалась к цековкам отверстий винтов, удерживающих фартук на каретке. Для учета массы в расчете задавалось направление силы гравитации.

Станина закреплялась по нижней опорной поверхности от всех перемещений. Каретке исключалась возможность перемещения по направляющим посредством инструмента «удаленное перемещение» (Remote displacement) по двум левым торцам.

Сила резания прикладывалась как «Удаленная нагрузка» (Remote force) к поверхностям М (рис. 4) в точке на максимальном диаметре обработки над суппортом с учетом расположения резца.

Тяговая сила задавалась также через «Удаленную нагрузку» (Remote force) и прикладывалась к цилиндрическим отверстиям каретки, в которых располагаются винты, крепящие фартук. Точка приложения располагалась в месте размещения зубчатого зацепления ременной передачи привода подачи.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты моделирования приведены на рис. 5 и 6, где представлены сводные диаграммы максимальных суммарных перемещений и

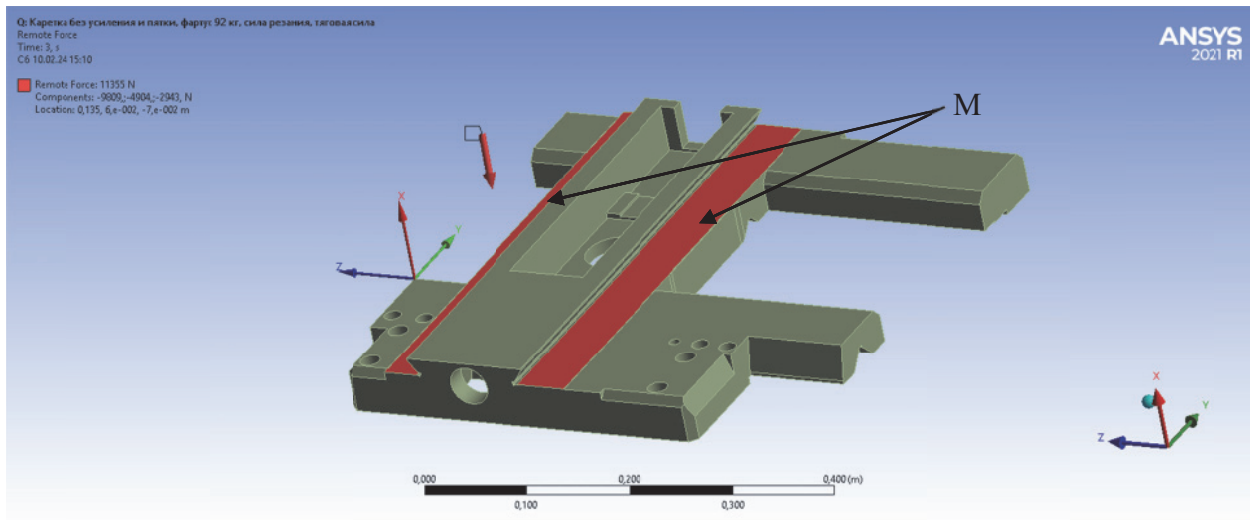


Рис. 4. Приложение силы резания



Рис. 5. Диаграмма максимальных суммарных перемещений при различных вариантах проведения численного эксперимента



Рис. 6. Диаграмма максимальных эквивалентных напряжений по Мизесу при различных вариантах проведения численного эксперимента

максимальных эквивалентных напряжений по Мизесу модели каретки при различных условиях проведения численного эксперимента.

Максимальные напряжения каретки наблюдались в зоне крепления фартука, а максимальные эквивалентные напряжения по Мизесу - в зонах над передней направляющей (кроме варианта №12). В качестве примера на рис.7 и 8 приведены результаты моделирования для 4-го варианта.

Результаты моделирования показали, что повышение технологичности конструкции не приводит к ее ослаблению, так как места расположения максимальных напряжений достаточно удалены от зон конструкции, с которых были убраны усиливающие элементы.

Рис. 5 и 6 подтверждают существенное влияние силы резания на деформации каретки (варианты № 7-18): максимальные деформации увеличиваются в среднем в 6-10

раз, а максимальные деформации по Мизесу - в 6-9 раз.

Увеличение массы фартука с 60 до 92 кг вызывает увеличение максимальных деформаций на 3-6 мкм, а максимальных напряжений по Мизесу в пределах 1 МПа. Исключением является вариант №12, когда максимальные напряжения увеличиваются на 3,4 МПа, причем место их расположения в отличие от остальных 17-ти вариантов смещается в зону над задней направляющей. Причиной этого является ослабление части каретки над задней направляющей (удаление «пятки») в сумме с максимальным весом каретки. Аналогичный результат наблюдается при одновременном учете весового фактора и силы резания.

Учет тяговой силы незначительно снижает максимальные деформации (~ на 7-10 мкм) и практически не сказывается на максимальных напряжениях (за исключением варианта №18).

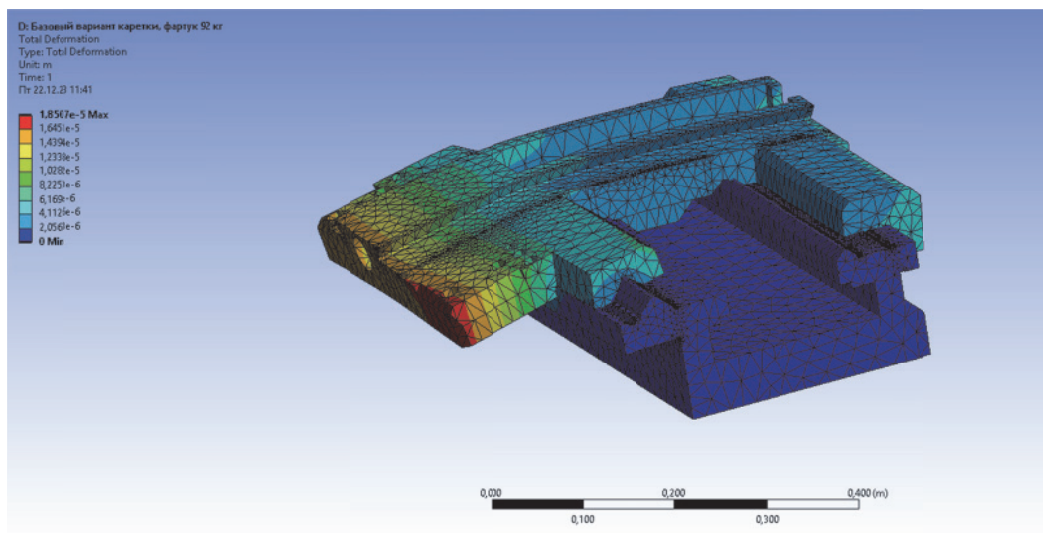


Рис. 7. Суммарные деформации каретки (вариант №4)

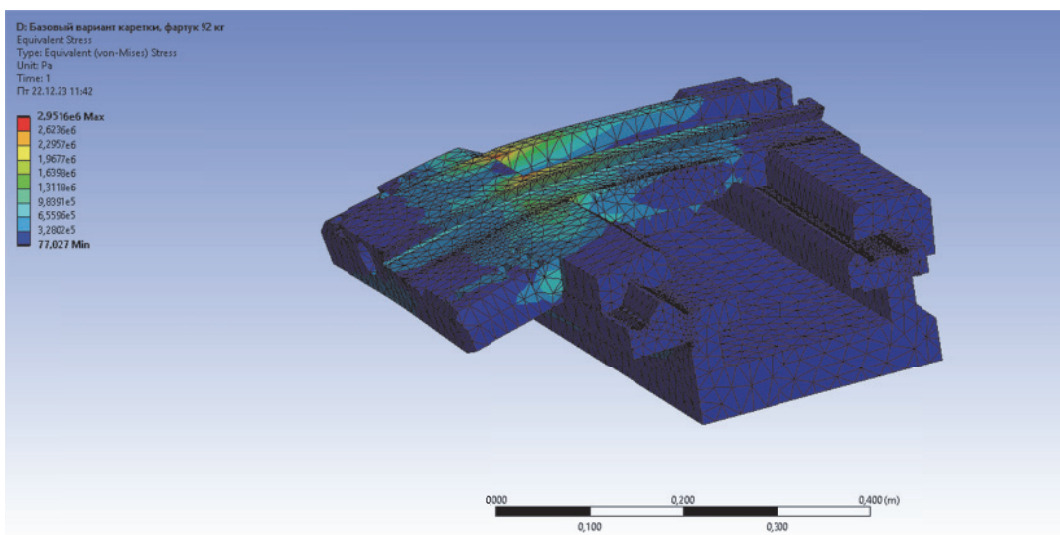


Рис. 8. Эквивалентные напряжения по Мизесу (вариант №4)

ВЫВОДЫ

Разработана и апробирована методика решения актуальной исследовательской задачи - повышения технологичности каретки токарно-винторезного станка с сохранением жесткостных и прочностных характеристик станка. Показано, что на этапе проектирования с использование численного моделирования можно предварительно исследовать реакцию каретки станка на действие внешних нагрузок и определить рациональные пути по улучшению конструкций. Оценено влияние как конструктивных факторов (усиливающих элементов, различной конструкции фартука), так и внешних силовых воздействий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балабанов, А.Н. Технологичность конструкций машин / А.Н. Балабанов. – М.: Машиностроение, 1987. – 336 с.
2. Жиганов, В.И. Особенности построения геометрической модели для расчета динамических характеристик несущей системы токарного станка модели УТ-16 / В.И. Жиганов, Р.Ш. Халимов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2009. – №3 (10). – С. 69-73.
3. Шелофаст, В.В. Основы проектирования машин. Примеры решения задач / В.В. Шелофаст, Т.Б. Чугунова. – М: Изд-во АПМ, 2004. – 240 с.
4. Атапин, В.Г. Выбор конструктивных параметров базовых деталей многоцелевого станка на этапе проектирования / В.Г. Атапин // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2011. – № 1(50). – С. 15-19.
5. Довнар, С.С. МКЭ-анализ жесткости суппорта тяжелого токарного станка в статике и динамике / С. С. Довнар [и др.] // Машиностроение. – 2018. – Вып.31. – С. 187-196.
6. Типушков, Ю.А. Определение жесткости несущих систем металлорежущих станков / Ю.А. Типушков, П.Г. Мазеин // Прогрессивные технологии в машиностроении. – 2005. – С. 104-108.
7. Хусаинов Р.М. Применение САД/САЕ-систем для исследования характеристик жесткости несущих систем металлорежущих станков / Р.М. Хусаинов, Д.Р. Ахкиямов // Материалы XXVII междунар. науч.-практ. конф. «Технические науки - от теории к практике». Часть I. Новосибирск: СибАК. – 2013. – <https://sibac.info/conf/tech/xxvii/34591> (дата обращения 14.05.2024).
8. Denisenko A.F., Yakimov M.V., Borisova K.R. Anisotropy of the radial stiffness of the boring of the headstock body of a lathe // Proceedings of the 7th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2021), 2022. С. 207-215.
9. Поляков, А.Н. Реализация параметрических моделей в инженерном анализе металлорежущих станков / А.Н. Поляков, С.В. Каменев, В.Н. Михайлов // Технология машиностроения. 2007. №3. С. 20-23.
10. Поляков, А.Н. Расчет несущих систем станков в САЕ - системе Ansys: Учебное пособие / А.Н. Поляков, С.В. Каменев, К.С. Романенко – Оренбург: ОГУ, 2013. – 190 с.
11. Кульга, К.С. Автоматизированное проектирование компоновок металлорежущих станков с ЧПУ с помощью САД/САЕ-систем / К.С. Кульга, Э.Р. Асбапов, А.А. Китаев, И.А. Кривошеев // Вестник МГТУ «Станкин». – 2019. – № 2 (49). – С. 63-68.
12. Кульга, К.С. Повышение эффективности проектирования компоновок многоцелевых станков с ЧПУ на основе САД/САЕ-систем / К.С. Кульга, П.В. Виноградов, А.А. Гаитова // Вестник машиностроения. – 2016. – № 7. – С. 14-18.
13. Денисенко, А.Ф. Анизотропия радиальной жесткости расточки корпуса под опоры шпинделя токарного станка / А.Ф. Денисенко, М.В. Якимов, К.Р. Борисова // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2021. – № 5(102). – С. 23-31.

INCREASING THE TECHNOLOGICAL EFFECTIVENESS OF MANUFACTURING THE SUPPORT CARRIAGE OF A SCREW CUTTER LATHE DURING MODERNIZATION

© 2024 M.V. Yakimov¹, A.F. Denisenko¹, E. V. Lopatin²

¹Samara State Technical University, Samara, Russia

²LLC “Srednevolzhskiy Stankozavod”, Samara, Russia

The relevance of modernizing metal-cutting equipment is caused by the requirements to improve operational characteristics and the need to maintain the cost of the offered machines at a certain level, despite inflationary processes. Moreover, the second direction should not be accompanied by a deterioration in the quality of machine tools. Therefore, it can only be realized by reducing manufacturing costs and, first of all, by increasing the manufacturability of the design. This area is especially relevant for universal metal-cutting equipment, including domestically produced screw-cutting lathes, the need for which to equip small metalworking enterprises is very high due to the fact that they are suppliers of multi-product components for enterprises in the automotive, aviation and defense clusters. The article discusses possible changes in the design of the slide carriage of a screw-cutting lathe. The complexity of the carriage shape and the variety of acting force factors require reasonable confirmation of the preservation of high performance characteristics, in particular, strength and rigidity. It is not possible to solve the problem posed using analytical or empirical dependencies without significantly simplifying the calculation models. Therefore, numerical modeling was used using the finite element

method in the Ansys Workbench 2021 system. The construction of a computational model is described and the stages of conducting a numerical experiment are considered. The need to evaluate the proposed design changes that increase the manufacturability of the carriage and the variability of power factors required the consideration of 18 numerical experiments that differed in the conditions of conduct. Based on the calculation results, the maximum total deformations and equivalent von Mises stresses were determined. Research has shown that the proposed changes in the design of the carriage do not lead to its weakening, since the locations of maximum stresses are sufficiently remote from the areas from which elements that impair manufacturability were removed.

Key words: screw-cutting lathe, support carriage, design manufacturability, numerical modeling, force factors, elastic deformations, von Mises equivalent stresses

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-4(2)-229-236

EDN: HIETIZ

REFERENCES

1. Balabanov, A.N. Tekhnologichnost' konstrukcij mashin / A.N. Balabanov. – M.: Mashinostroenie, 1987. – 336 s.
2. Zhiganov, V.I. Osobennosti postroeniya geometricheskoy modeli dlya rascheta dinamicheskikh harakteristik nesushchej sistemy tokarnogo stanka modeli UT-16 / V.I. Zhiganov, R.Sh. Halimov // Vestnik Ul'yanovskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. – 2009. – №3 (10). – S.69-73.
3. Shelofast, V.V. Osnovy proektirovaniya mashin. Primery resheniya zadach / V.V. Shelofast, T.B. CHugunova. – M: Izd-vo APM, 2004. – 240 s.
4. Atapin, V.G. Vybory konstruktivnykh parametrov bazovykh detalej mnogoceleвого stanka na etape proektirovaniya / V.G. Atapin // Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty). – 2011. – № 1(50). – S. 15-19.
5. Dovnar, S.S. MKE-analiz zhestkosti supporta tyazhelogo tokarnogo stanka v statike i dinamike / S. S. Dovnar [i dr.] // Mashinostroenie. – 2018. – Vyp.31. – S. 187-196.
6. Tipushkov, Yu.A. Opredelenie zhestkosti nesushchih sistem metallovezhushchih stankov / Yu.A. Tipushkov, P.G. Mazein // Progressivnye tekhnologii v mashinostroenii. – 2005. – S. 104-108.
7. Husainov R.M. Primenenie CAD/CAE-sistem dlya issledovaniya harakteristik zhestkosti nesushchih sistem metallovezhushchih stankov / R.M. Husainov, D.R. Ahkiyamov // Materialy XXVII mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Tekhnicheskie nauki – ot teorii k prak-tike". Chast' I. Novosibirsk: SibAK. – 2013. – <https://sibac.info/conf/tech/xxvii/34591> (lfnf j,hfotybz 14.05.2024).
8. Denisenko A.F., Yakimov M.V., Borisova K.R. Anisotropy of the radial stiffness of the boring of the headstock body of a lathe // Proceedings of the 7th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2021), 2022. S. 207-215.
9. Polyakov, A.N. Realizaciya parametriceskih modelej v inzhenernom analize metallovezhushchih stankov / A.N. Polyakov, S.V. Kamenev, V.N. Mihajlov // Tekhnologiya ma-shinostroeniya. 2007. №3. S. 20-23.
10. Polyakov, A.N. Raschet nesushchih sistem stankov v SAE - sisteme Ansys: Uchebnoe posobie / A.N. Polyakov, S.V. Kamenev, K.S. Romanenko – Orenburg: OGU, 2013. – 190 s.
11. Kul'ga, K.S. Avtomatizirovanoe proektirovanie komponovok metallovezhushchih stankov s CHPU s pomoshch'yu CAD/CAE-sistem / K.S. Kul'ga, E.R. Asbapov, A.A. Kitaev, I.A. Krivosheev // Vestnik MG TU «Stankin». – 2019. – № 2 (49). – S. 63-68.
12. Kul'ga, K.S. Povyshenie effektivnosti proektirovaniya komponovok mnogocelevykh stankov s CHPU na osnove CAD/CAE-sistem / K.S. Kul'ga, P.V. Vinogradov, A.A. Gaitova // Vestnik mashinostroeniya. – 2016. – № 7. – S. 14-18.
13. Denisenko, A.F. Anizotropiya radial'noj zhestkosti rastochki korpusa pod opory shpindelya tokarnogo stanka / A.F. Denisenko, M.V. Yakimov, K.R. Borisova // Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2021. – № 5(102). – S. 23-31.

Mikhail Yakimov, PhD in Engineering Sciences, Assistant Professor of the Department of Engineering Technology, Machine Tools and Tools. E-mail: mikya@yandex.ru

Alexander Denisenko, Grand PhD in Engineering Sciences, Professor of the Department of Engineering Technology, Machine Tools and Tools. E-mail: sammortor@yandex.ru

Evgeniy Lopatin, Head of the R&D Department. E-mail: le@svsz.ru