

# МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-103-110

*\*Дурыхин А.А., Хуртасенко А.В., Шрубченко И.В.**Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова**\*E-mail: durykhinandrey@mail.ru*

## СНИЖЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ ЗАГОТОВКИ В ПРОЦЕССЕ ОБРАБОТКИ НЕЖЕСТКИХ ДЕТАЛЕЙ

**Аннотация.** В статье рассмотрено влияние внутренних напряжений в теле заготовки на изменение ее геометрических параметров во время фрезерной обработки детали из термоупрочненного алюминия с низкой жесткостью конструкции, а также методика процесса фрезерной обработки подобных деталей, позволяющая снизить влияние внутренних напряжений отливки на точность получаемых размеров.

Произведены измерения геометрических параметров выборки исследуемых деталей после черновой и чистовой обработки. На основе изучения полученных данных предложена методика снижения влияния внутренних напряжений заготовки на получаемый размер, заключающаяся в изменении конфигурации заготовки для черновых и получистовых проходов.

Рассмотрена возможность интерпретирования внутренних напряжений заготовки во внешнюю нагрузку, для получения приближенных значений отклонений геометрических параметров на промежуточных этапах обработки. Произведено моделирование напряжений заготовки с первичной и новой конфигурациями. Изучены результаты конечно-элементного анализа, произведенного с использованием САПР Siemens NX. Проведено сравнение полученных данных.

Установлено, что использование методики с увеличением жесткости заготовки на этапе черновой и получистовой обработки приводит к снижению влияния коробления отливки на величину отклонений итоговых размеров детали, что приводит к уменьшению времени обработки, путем сокращения количества чистовых проходов, а также времени старения заготовки после чернового снятия припуска.

**Ключевые слова:** фрезерование, фрезерная обработка, нежесткий элемент, тонкая стенка, алюминиевый сплав, деформации, метод конечных элементов.

**Введение.** Нежесткая деталь – деталь, которая деформируется до такой степени, что в свободном состоянии выходит за пределы допусков размеров и/или формы и расположения, относящихся к детали в закрепленном состоянии.

Влияние остаточных напряжений сказывается на точности детали через их перераспределение в заготовке по мере ее обработки и в готовой детали. Основной причиной возникновения остаточных напряжений является неоднородность деформированного состояния ввиду различного изменения объема в разных зонах тела.

В процессе предварительной обработки при черновой обдирке отливки и, особенно, при неравномерном снятии припуска, происходит перераспределение остаточных напряжений, сопровождаемое короблением заготовки. Для релаксации напряжений и прекращения процесса коробления заготовки после обработки подвергаются естественному или искусственному старению. Естественное старение производится несколько суток, месяцев или даже лет [1, 2].

Для получения деталей с необходимыми параметрами точности используют методику обработки с несколькими получистовыми и чистовыми проходами для нивелирования коробления

заготовки после черновой обработки и естественного старения [3].

Целью данной работы являлось определение технологического подхода для процесса фрезерной обработки, который приведет к снижению деформаций заготовки в процессе производства, что положительно скажется на величине отклонений контролируемых размеров и снижению времени обработки, а также применение методики интерпретирования внутренних напряжений заготовки во внешнюю нагрузку, для получения приближенных значений отклонений геометрических параметров на промежуточных этапах обработки.

**Методология.** Изучение технологического подхода и методики моделирования построено на примере обработки детали «Фланец», применяемой в авиастроительной отрасли (рис. 1).

Материал исследуемой заготовки В95.Т1 – закаленный сплав алюминия, содержащий в составе цинк, магний и медь, в искусственно состаренном состоянии при  $t=125\text{ }^{\circ}\text{C}$  [4].

Габариты изделия  $448\times 360\times 195$  мм. Средняя толщина стенок  $5\pm 0,5$  мм.

Структурные изменения материала заготовки, сопровождаются перераспределением остаточных напряжений [5].

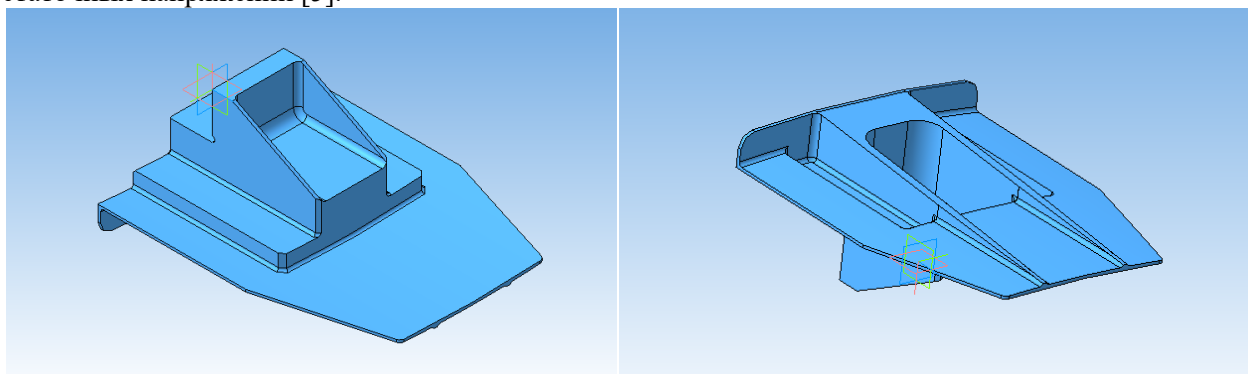


Рис. 1. Общий вид детали «Фланец»

Контроль готовой детали производится на поверочном столе, применяется измерительное оборудование с использованием комплексного ПО Autodesk PowerInspect.

Моделирование фрезерной обработки выполнено в САПР NX CAM с использованием стратегии «Cavity Mill» (глубинное фрезерование по уровням) в автоматическом режиме с постоян-

ным остаточным припуском для черновых проходов 5 мм, для получистовых 0,3 мм и с окончательной контурной обработкой.

**Основная часть.** Базовый технологический процесс подразумевает снятие основной массы припуска при черновой обработке за одну операцию концевой фрезерования с остаточным припуском 5 мм, и последующим естественным старением на открытом воздухе в течении 7–10 дней [6] (рис. 2).

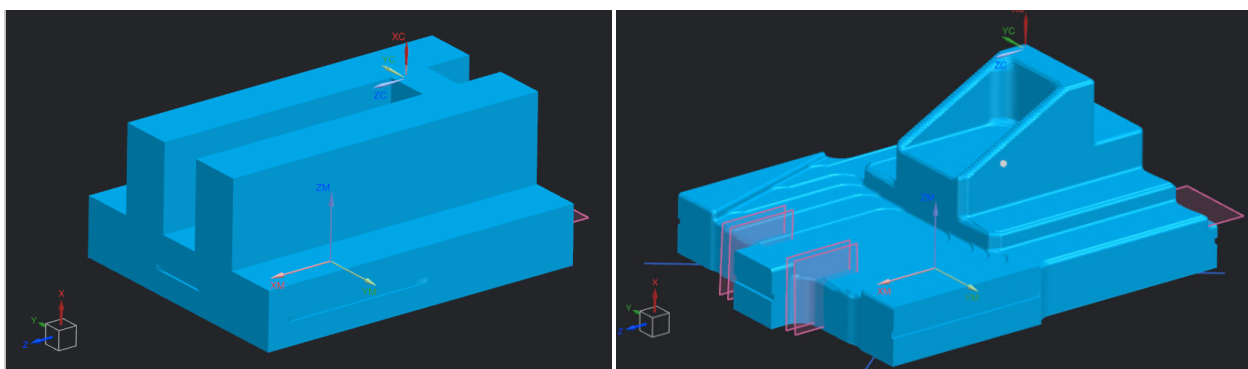


Рис. 2. Заготовка после черновой обработки

При снятии припуска с заготовок, имеющих остаточные напряжения, распределение последних изменяется. После снятия заготовки деформируются до наступления равновесного состояния оставшихся в них остаточных напряжений. Уровень остаточных напряжений и величина снимаемого припуска прямо пропорционально деформации заготовки.

Возникающие непосредственно при обработке концевыми фрезами остаточные напряжения также вызывают деформации заготовок после их раскрепления. Наиболее существенны деформации для маложестких заготовок с несимметричным профилем, для которых осуществляется снятие разных по величине припусков с противоположных сторон с противоположных сторон которых снимаются разные припуски.

Предварительные измерения базовой поверхности в продольном (рис. 3а) и поперечном (рис. 3а, 3б) направлениях после операции черновой обработки на первом установе показали, что заготовка теряет свои первоначальные геометрические параметры. Это указывает на изменения внутренних напряжений в теле заготовки.

Последующее прослабление заготовки путем снятия материала изменяет отклонения поверхностей в большую сторону. Черновая обработка обратной стороны заготовки приводит к аналогичным результатам. Дальнейшая получистовая и чистовая обработка направлена на приведение деформируемых элементов обрабатываемой заготовки к требуемым параметрам допусков на детали. Базовый технологический процесс

подразумевает дальнейшую обработку в 8 установов, с перебазированием заготовки на другую сторону для каждой полуступовой и чистовой операции.

Для исключения деформации заготовки в сторону удаленного материала используют комбинированную вакуумную объемную оснастку,

фрезы малого диаметра на чистовых проходах. Эти методы снижают вероятность деформации заготовки, при этом увеличивая основное и вспомогательное время обработки детали [7].

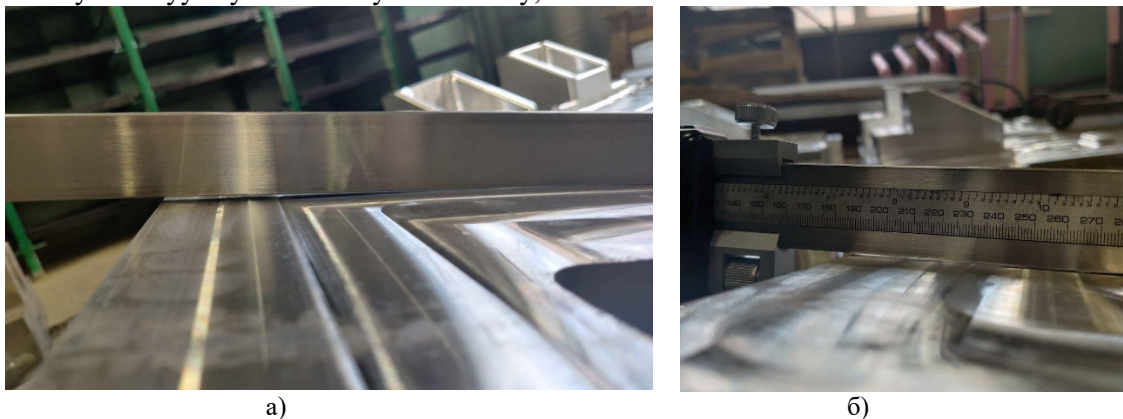


Рис. 3. Изменение геометрии базовой плоскости после черновой обработки:

а) поперечный прогиб в сторону снятого материала, б) продольный прогиб в сторону снятого материала

Контроль параметров готовой детали выполняются на поверочном столе с использованием комплексного ПО Autodesk PowerInspect, который позволяет выводить отчет об измерениях в виде карты точек с величинами отклонений [8–10] (рис. 4, 5).

Производится измерение радиальной поверхности  $R = 1735^{+0.3}$  мм.

Анализируя данные, полученные при измерении, можно сделать выводы о том, что максимальные значения отклонений увеличиваются к верхнему краю детали, достигают значения - 0,723 мм. Такой результат согласовывается с полученными данными после предварительного измерения после первого чернового прохода.

Наиболее достоверные методы изучения внутренних напряжений – механические, но при их использовании происходит разрушение или

повреждение исследуемой заготовки, при этом также подразумевается проведение ряда измерений, для получения объемной картины исследования. Принимая во внимание дороговизну заготовки и детали, подобные методы в описываемом случае применить не имеется возможности. Аналитические методы сравнительно просто реализуются только для моделей простой геометрической формы [11].

Для исследования снижения влияния внутренних напряжений заготовки на получаемый размер, заключающийся в изменении конструкции заготовки для черновых и полуступовых проходов, использован метод интерпретирования отклонений размера в перемещение узлов детали при нагружении, используя САПР Siemens NX и программный модуль Nastran для конечно-элементного анализа [12].

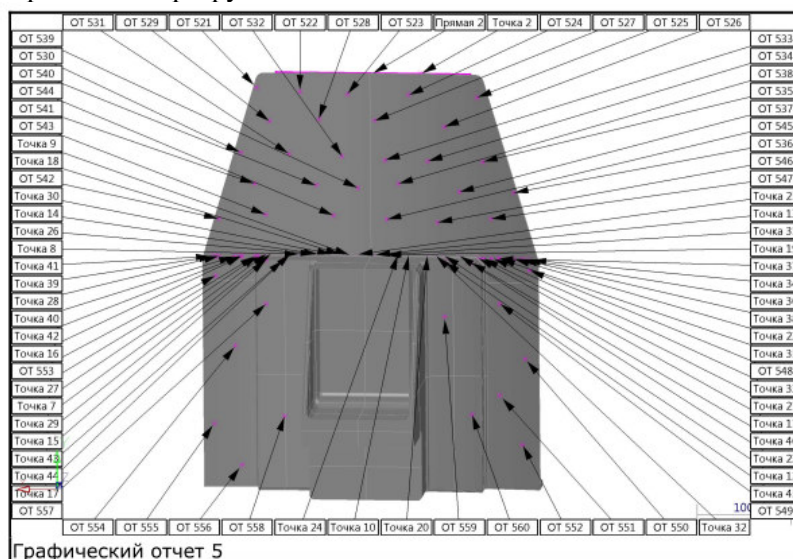


Рис. 4. Карта точек измерения PowerInspector

Группа геометрических элементов 1						
<b>Раст 5 (Опорные элементы: Точка 47, Точка 7)</b>						
	+Доп.	-Доп.	Номинал	Измерено	Отклонение	Ошибка
Расстояние	0,300	0,000	1735,000	1734,293	-0,707	-0,707
<b>Раст 6 (Опорные элементы: Точка 47, Точка 8)</b>						
	+Доп.	-Доп.	Номинал	Измерено	Отклонение	Ошибка
Расстояние	0,300	0,000	1735,000	1734,284	-0,716	-0,716
<b>Раст 7 (Опорные элементы: Точка 47, Точка 9)</b>						
	+Доп.	-Доп.	Номинал	Измерено	Отклонение	Ошибка
Расстояние	0,300	0,000	1735,000	1734,277	-0,723	-0,723
<b>Раст 8 (Опорные элементы: Точка 47, Точка 10)</b>						
	+Доп.	-Доп.	Номинал	Измерено	Отклонение	Ошибка
Расстояние	0,300	0,000	1735,000	1734,378	-0,622	-0,622
<b>Раст 9 (Опорные элементы: Точка 47, Точка 11)</b>						
	+Доп.	-Доп.	Номинал	Измерено	Отклонение	Ошибка
Расстояние	0,300	0,000	1735,000	1734,538	-0,462	-0,462
<b>Раст 10 (Опорные элементы: Точка 47, Точка 12)</b>						
	+Доп.	-Доп.	Номинал	Измерено	Отклонение	Ошибка
Расстояние	0,300	0,000	1735,000	1734,463	-0,537	-0,537
<b>Раст 11 (Опорные элементы: Точка 47, Точка 13)</b>						
	+Доп.	-Доп.	Номинал	Измерено	Отклонение	Ошибка
Расстояние	0,300	0,000	1735,000	1734,365	-0,635	-0,635
<b>Раст 12 (Опорные элементы: Точка 47, Точка 14)</b>						
	+Доп.	-Доп.	Номинал	Измерено	Отклонение	Ошибка
Расстояние	0,300	0,000	1735,000	1734,300	-0,700	-0,700
<b>Раст 13 (Опорные элементы: Точка 47, Точка 15)</b>						
	+Доп.	-Доп.	Номинал	Измерено	Отклонение	Ошибка
Расстояние	0,300	0,000	1735,000	1734,237	-0,763	-0,763

Рис. 5. Отчет PowerInspector с результатами измерения

Так как моделирование распределения остаточных напряжений внутри заготовки достаточно осложнено, используется приведение напряженного состояния заготовки к полученным значениям результатов измерения детали из партии способом внешнего нагружения, с соблюдением закрепления детали при измерении на поверочном столе.

Этот метод интерпретирования позволяет получать приближенные значения отклонений геометрических параметров детали с изменением конструктивных элементов при известных параметрах исходной детали.

Производится моделирование нагрузки на исходную деталь [13–16]. Ограничения определяются базированием заготовки при контроле на поверочном столе. Нагрузка определяется методом подбора исходя из результатов измерений.

В качестве граничного условия, для ограничения смещения модели твердого тела используется жесткая заделка по поверхности опорного фланца. Применяемая нагрузка - геометрически распределенная сила по исследуемому элементу (рис. 6). Сила определена эмпирическим методом и составляет  $F=1800$  Н.

Согласно заданным условиям производится решение системы уравнений линейного статиче-

ского анализа методами NX Nastran, для определения напряженно-деформированного состояния контролируемого изделия.

Результат нагружения детали – перемещение узлов детали на исследуемом конструктивном элементе приближен к значениям и положению отклонений из отчета Autodesk PowerInspect, полученным при контрольной операции изготовления (рис. 7).

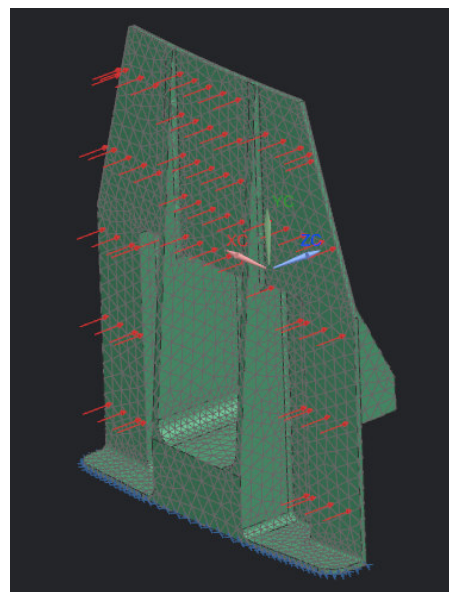


Рис. 6. Схема нагружения исследуемой детали



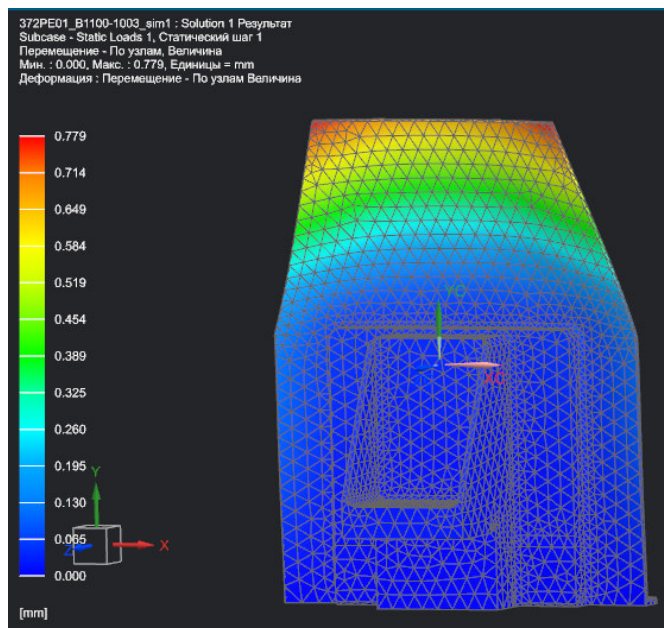


Рис. 7. Интерпретация отклонений размеров детали в НДС как деталь с нагружением

Уменьшение отклонений предполагается путем добавления ребер жесткости на поверхности заготовки, в сторону которой происходит перераспределение внутренних напряжений при черновом и получистовом снятии основного припуска, для удержания напряженно-деформированного состояния заготовки в ходе обработки, с последующим удалением на финальных этапах обработки [17] (рис. 8).

Влияние параметров добавленных элементов жесткости на величину отклонений в данной статье не рассматривается.

Конечно-элементный анализ для детали с измененной конструкцией производится аналогично детали с исходной конструкцией при одинаковых параметрах граничных условий и нагружения (рис. 9).

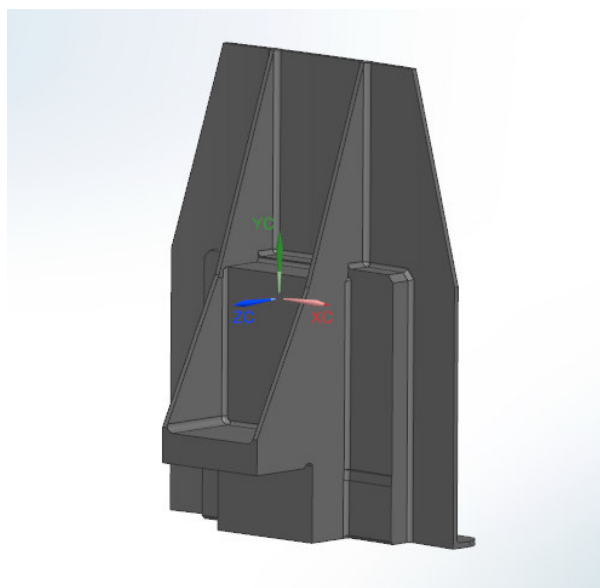


Рис. 8. Измененная конструкция заготовки для черновых и получистовых проходов

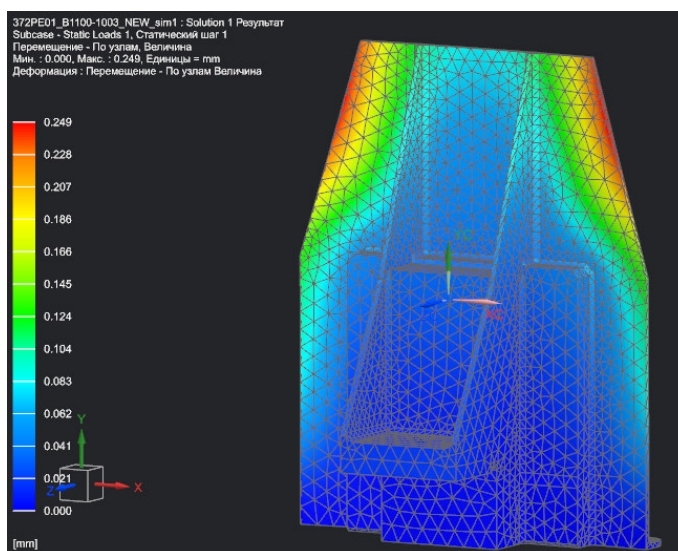


Рис. 9. Нагружение заготовки с измененной конструкцией

Результат конечно-элементного анализа детали с измененной конструкцией отображает перераспределение зон нагружения и снижение максимальных значений перемещения узлов детали. Максимальные значения перемещения узлов составляет 0,249 мм.

Для сравнения результатов отклонений, производится обратное интерпретирование полученных значений перемещений узлов к значениям, полученным при измерении детали на поверочном столе для детали с измененной конструкцией. Результат сравнения значений с исходным значением отклонения ( $\Delta \approx 0,723$  мм) отображает, что снижение отклонений заготовки при применении ребер жесткости для заготовки может достигать 65 %.

**Выводы.** 1. Предложенный метод интерпретирования внутренних напряжений заготовки во внешнюю нагрузку позволяет теоретически получать приближенные значения отклонений геометрических параметров на промежуточных этапах и позволяет корректировать стратегию механической обработки в направлении минимизации погрешности в ходе этапа отладки технологии при отсутствии возможности непосредственной обработки или при выполнении пробной обработки.

2. Показано, что использование методики с увеличением жесткости промежуточных заготовок на этапе черновой и получистовой обработки приводит к снижению влияния коробления отливки на величину отклонений итоговых размеров детали.

3. Уменьшение погрешности контролируемых размеров на промежуточных операциях обработки приводит к уменьшению всего времени обработки, за счет сокращения необходимого количества чистовых проходов, а также времени старения заготовки после чернового снятия припуска.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Арендарчук А.В., Астафьев А.А., Башнин Ю.А. Термическая обработка в машиностроении: справочник. М.: Машиностроение, 1980. 776 с.
2. Даниленко Е.А. Анализ причин возникновения погрешностей формы и размера при фрезеровании нежестких заготовок // Научный альманах. 2021. №2-1(76). С. 11–16.
3. Григорьев С.Н., Схиртладзе А.Г., Скрябин В.А. Резание материалов: учебник. Пенза: Приволжский Дом знаний, 2012. 356 с.
4. Дальский А.М., Косилова А.Г., Мещеряков Р.К., Суслов А.Г. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. 5-е изд., испр. - М.: Машиностроение, 2003. 944 с.
5. Бачурин А.С., Бобин К.Н., Матвеев К.А., Курлаев Н.В. Численное моделирование влияния припуска на величину остаточных напряжений в деталях летательных аппаратов после закалки // Вестник СибГАУ. 2013. №3 (49). С. 123–127.
6. Блюмберг В.А., Зазерский Е.И. Справочник фрезеровщика. Л.: Машиностроение, 1984. 288 с.
7. Маданов А.В., Нейчев А.Ф. Анализ проблем при обработке деталей сложной геометрии и путей их решения на этапе технологической подготовки производства // Проблемы науки. 2015. №1 (1). С. 14–16
8. Медведев Ф.В., Таликин С.А. Контроль и технологическое базирование заготовок сложной геометрии на станках с ЧПУ с применением системы PowerINSPECT OMV // Вестник ИрГТУ. 2010. №5 (45). С. 32–36.
9. Delcam's Power INSPECT OMV provides "an invaluable tool" for Makino-NCMT. [Электронный ресурс]. Системные требования: Интернет браузер. URL: <https://www.cim-data.com/en/industry-summary-articles/item/4678-delcam-s-powerinspect-omv-provides-an-invaluable-tool-for-makino-ncmt> (дата обращения 15.12.2021)
10. Hong G. Research on on-machine Measurement Technology based on PowerINSPECT // New Technology & New Process. 2013
11. Чернышев Г.Н., Попов А.Л., Козинцев В.М., Пономарев И.И. Остаточные напряжения в деформируемых твердых телах. М: Наука. Физматлит, 1996. 240 с.
12. Ключников С.И. Использование системы MSC/Nastran для моделирования перераспределения внутренних напряжений при фрезеровании изделий // Вестник ИрГТУ. 2006. №4 (28). С. 15–16.
13. Гончаров П. С., Артамонов И. А., Халитов Т. Ф., Денисихин С. В., Сотник Д. Е. NX Advanced Simulation. Инженерный анализ. М.: ДМК Пресс, 2012. 504 с.
14. Fuh K., Wu C., A residual-stress model for the milling of aluminum alloy (2014-T6) // J Mater Process Technol. 1995. №51(1–4). Pp. 87–105.
15. Болотеин А.Н. Анализ напряженно-деформированного состояния деталей после механической обработки средствами компьютерного моделирования // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьева. 2014. №1(28). С. 54–60.
16. Хусаинов Р.М., Мубаракшин И.И., Сабиров А.Р. Исследование упругих деформаций при обработке на вертикально-фрезерных станках // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. №5. С. 304-308.

17. Патент 3381362/08, Российская Федерация, МПК В 23 С 3/00. Способ обработки не-

жестких плоских деталей / Шестов Н.М., Кочетов Н.Н.; заявл. 15.10.1981; опублик. 20.04.1997, Бюл. №3. 5 с.

Информация об авторах

**Дурыхин Андрей Андреевич**, аспирант кафедры технологии машиностроения. E-mail: durykhinandrey@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Хуртасенко Андрей Владимирович**, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения. E-mail: hurtintbel@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Шрубченко Иван Васильевич**, доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 16.02.2022 г.

© Дурыхин А.А., Хуртасенко А.В., Шрубченко И.В., 2022

*\*Durykhin A.A., Hurtasenko A.V., Shrubchenko I.V.  
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov  
\*E-mail: durykhinandrey@mail.ru*

## REDUCING THE INFLUENCE OF INTERNAL STRESSES IN THE WORKPIECE DURING THE PROCESSING FLEXIBLE PARTS

**Abstract.** *The article considers the influence of internal stresses in the body of the workpiece on the change in its geometric parameters during milling of a part made of heat-strengthened aluminum with low structural rigidity. In addition, the method of milling such parts is shown. It allows to reduce the influence of internal stresses of the casting on the accuracy of the obtained dimensions. Measurements of the geometric parameters of the sample of the studied parts after roughing and finishing are made. Based on the study of the data obtained, a method is proposed to reduce the effect of internal stresses on the resulting size of the workpiece, which consists in changing the configuration of the workpiece for roughing and semi-finishing passes. The possibility of interpreting the internal stresses of the workpiece into an external load is considered in order to obtain approximate values of deviations of geometric parameters at intermediate stages of processing. Stress modeling of the workpiece with primary and new configurations is performed. The results of finite element analysis performed using Siemens NX CAD are studied. The obtained data are compared. It has been established that the use of a technique with an increase in the rigidity of the workpiece at the stage of roughing and semi-finishing leads to a decrease in the effect of warping of the casting on the magnitude of deviations in the final dimensions of the part. This leads to a decrease in processing time by reducing the number of finishing passes, as well as the aging time of the workpiece after rough removal of the allowance.*

**Keywords:** *milling, mill cutting, non-rigid element, thin wall, aluminum alloy, deformation, finite element method.*

### REFERENCES

1. Arendarchyk A.V., Astafiev A.A. Bsshnin Y.A. Heat treatment in mechanical engineering [Termicheskaya obrabotka v mashinostroyeni]. Moskva: Mashinostroyeniye, 1980. 776 p. (rus)
2. Danilenko E.A. Analysis of the causes of shape and size errors in the milling of non-rigid workpieces [Analiz prichin vozniknoveniya pogreshnostej formy i razmera pri frezerovanii nezhestkih zagotovok]. Scientific almanac. 2021. No. 2-1(76). Pp. 11–16. (rus)
3. Grigoriev S.N., Skhirtladze A.G., Scriabin V.A. Cutting materials [Rezanie materialov]. Penza. Privolzkiiy dom znaniy, 2012. 356 p. (rus)
4. Dalsky A.M., Kosilova A.G., Meshcheryakova R.K., Suslova A.G. Handbook of a technologist-machine builder [Spravochnik tekhnologamashinostroitelya]: Vol. 2, 5th ed., Rev. M.: Mechanical Engineering, 2003. 944 p. (rus)
5. Bachurin A.S., Bobin K.N., Matveev K.A., Kurlaev N.V. Numerical modeling of the influence of the allowance on the value of residual stresses in the details of aircraft after hardening [Chislennoe modelirovanie vliyaniya pripuska na velichinu ostatochnyh napryazheniy v detalyah letatel'nykh apparatov posle zakalki]. Bulletin of SibGAU. 2013. No. 3 (49). Pp. 123–127. (rus)
6. Blyumberg V.A., Zazersky E.I. Milling machine reference book. [Spravochnik frezerovshchika]. L.: Engineering, 1984. 288 p. (rus)

7. Madanov A.V., Nejchev A.F. Analysis of problems in the processing of parts of complex geometry and ways to solve them at the stage of technological preparation of production [Analiz problem pri obrabotke detalej slozhnoj geometrii i putej ih resheniya na etape tekhnologicheskoy podgotovki proizvodstva]. Problemy nauki. 2015. No. 1 (1). Pp. 14–16 (rus)

8. Medvedev F.V., Talikin S.A. Control and technological basing of workpieces of complex geometry on CNC machines using the PowerINSPECT OMV system [Kontrol' i tekhnologicheskoe bazirovanie zagotovok slozhnoj geometrii na stankah s CHPU s primeneniem sistemy PowerINSPECT OMV]. Bulletin of ISTU.2010. No. 5 (45). Pp. 32–36. (rus)

9. Delcam's PowerINSPECT OMV provides "an invaluable tool" for Makino-NCMT. CIM-data.com 2015. URL: <https://www.cim-data.com/en/industry-summary-articles/item/4678-delcam-s-powerinspect-omv-provides-an-invaluable-tool-for-makino-ncmt> (date of treatment: 15.12.2021)

10. Hong G. Research on on-machine Measurement Technology based on PowerINSPECT. New Technology & New Process. 2013.

11. Klyuchnikov S.I. Using the MSC/Nastran system for modeling the redistribution of internal stresses in the milling of products [Ispol'zovanie sistemy MSC/Nastran dlya modelirovaniya pereraspredeleniya vnutrennih napryazhenij pri frezerovanii izdelij] Bulletin of ISTU.2006. No. 4 (28). Pp.

15–16. (rus)

12. Chernyshev G.N., Popov A.L., Kozintsev V.M., Ponomarev I.I. Residual stresses in deformable solids [Ostatochnye napryazheniya v deformiruemyh tverdyh telah]. M: Science. Fizmatlit, 1996. 240 p. (rus)

13. Goncharov P.S., Artamonov I.A., Khalitov T.F., Denisikhin S.V., Sotnik D.E. NX Advanced Simulation. Engineering analysis [NX Advanced Simulation. Inzhenernyj analiz]. M.: DMK Press, 2012. 504 p.(rus)

14. Fuh K., Wu C. A residual-stress model for the milling of aluminum alloy (2014-T6). J Mater Process Technol. 1995. No. 51(1–4). Pp. 87–105.

15. Bolotein A.N. Analysis of the stress-strain state of parts after mechanical processing by means of computer simulation [Analiz napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya detalej posle mekhanicheskoy obrabotki sredstvami komp'yuternogo modelirovaniya]. Bulletin of the Rybinsk State Aviation Technological Academy. P.A. Solovyov.2014. No. 1(28). Pp. 54–60 (rus)

16. Khusainov R.M., Mubarakshin I.I., Sabirov A.R. Investigation of elastic deformations during processing on vertical milling machines [Issledovanie uprugih deformatsij pri obrabotke na vertikal'no-frezernyh stankah]. Nauno-tekhnicheskij vestnik Povolzh'ya. 2015. No. 5. Pp. 304–308. (rus)

17. Shestov N.M., Kochetov N.N. Method for processing non-rigid flat parts. Patent RF, n. 3381362/08, 1997. (rus)

#### *Information about the authors*

**Durykhin, Andrey A.** Postgraduate student. E-mail: durykhinandrey@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Hurtasenko, Andrey V.** PhD. E-mail: hurtintbel@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Shrubchenko, Ivan V.** Doctor of Technical Sciences. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

*Received 16.02.2022*

#### **Для цитирования:**

Дурьихин А.А., Хуртасенко А.В., Шрубченко И.В. Снижение влияния внутренних напряжений заготовки в процессе обработки нежестких деталей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 6. С. 103–110. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-103-110

#### **For citation:**

Durykhin A.A., Hurtasenko A.V., Shrubchenko I.V. Reducing the influence of internal stresses in the workpiece during the processing flexible parts. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 6. Pp. 103–110. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-103-110