

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ОЦЕНКЕ ВЕЛИЧИН ОТКЛОНЕНИЙ ВАЛА НД ГТД, ВЫЗВАННЫХ ОСТАТОЧНЫМИ НАПРЯЖЕНИЯМИ

Развитие современной промышленности, в значительной мере, зависит от эффективности решения проблем, связанных с качеством поверхностного слоя изделий. В свою очередь, параметры, которые его характеризуют, влияют на эксплуатационные характеристики деталей и узлов, а также могут служить причиной несобираемости узла или агрегата ввиду недопустимых геометрических отклонений форм деталей их составляющих. Если рассматривать механическую обработку, то к причинам, способным к этому приводить, возможно отнести: использование затупившегося инструмента, установку его со слишком большим вылетом; выбор оснастки недостаточной жёсткости; выбор станка, имеющего высокую выработку ресурса, недостаточную жёсткость или изначально имеющего недостаточную точность для проводимой операции; выбор схемы обработки, при которой прогибы элементов станка, инструмента или детали превышают максимально допустимые для проводимой операции. Перечисленные причины имеют непосредственное отношение к условиям обработки, однако, способствовать геометрическим отклонениям формы деталей могут и остаточные напряжения, формирующиеся в поверхностном слое деталей на этапах механической обработки. Именно их влияние на геометрическую точность и анализировалось в данной работе на примере вала низкого давления (НД) ГТД семейства «НК» (рис. 1).

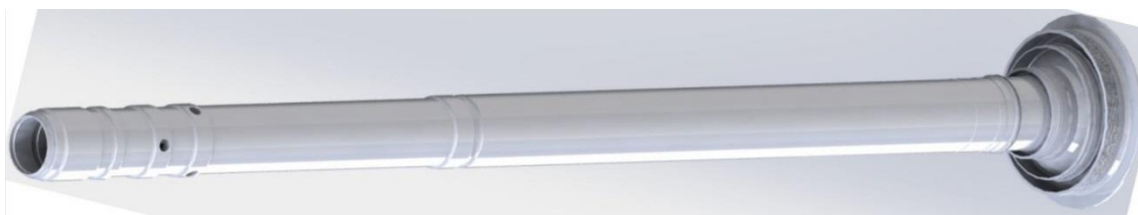


Рис. 1. Виртуальная геометрия исследуемого вала НД

В качестве исходной информации к анализу было выбрано три этапа обработки вала из технологического процесса. В последовательном порядке ими являются снятие припуска по внешнему диаметру токарным способом, затем алмазное выглаживание по внутренней поверхности вала и дополнительное снятие припуска по внешнему диаметру токарным способом. При этом, в данной работе было учтено, что припуск, отведённый под токарную обработку, также имеет в

своём поверхностном слое поле распределения остаточных напряжений, наведённых в процессе предыдущих обработок.

Для проведения исследования была разработана виртуальная модель вала НД в состоянии до снятия первого припуска по внешнему диаметру. Данная модель была создана как сборочная и включила в себя как отдельно созданный припуск под токарную обработку, так и поверхностный слой, отведённый под залегающие остаточные напряжения, наводимые при алмазном выглаживании. Величина припуска, отведённого под токарную обработку, составила 4 мм, а толщина поверхностного слоя с залегающими в нём остаточными напряжениями была задана величиной 170 мкм. Указанная величина была принята в соответствии с эпюрой распределения осевых остаточных напряжений, которая, в свою очередь, соответствует режиму выглаживания, применяемому в соответствии с технологическим процессом [1].

Ознакомьтесь с изображением сборной виртуальной модели вала НД, выполненным в разрезе, возможно на рис. 2.

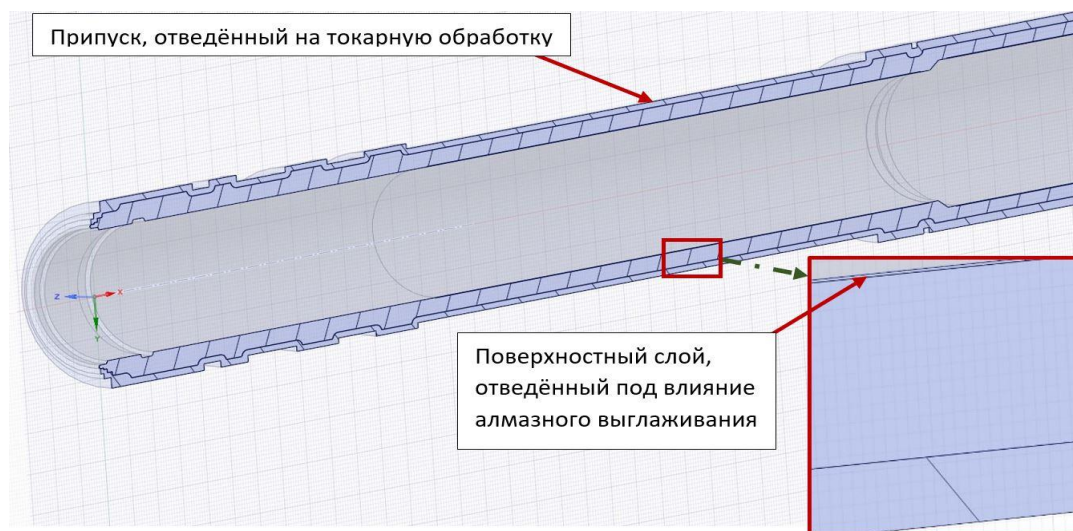


Рис. 2. Разрез сборной виртуальной модели вала НД

После разработки виртуальная модель была импортирована в программе конечно-элементного анализа, с последующим её разбиением на сетку конечных элементов. В данной программе были заданы граничные условия модели, а также поочерёдно заданы поля распределения остаточных напряжений в поверхностных слоях припуска под токарную обработку и участка с обработкой алмазным выглаживанием [2, 3]. При проведении компьютерных вычислений было получено смещение контура исследуемого вала НД относительно его номинальных размеров. Смещение оценивалось в зависимости от действий остаточных напряжений, залегающих в поверхностном слое внутренней поверхности вала, то есть в зоне, выглаженной алмазом, а также напряжений, сосредоточенных в поверх-

ностном слое припуска, отведённого под токарную обработку, то есть тех напряжений, которые были сформированы на этапах предыдущих механических операций. Пример результата вычислений возможно видеть на рис. 3, а максимальные величины смещений контура вала НД, полученные, в том числе, при дополнительных условиях закрепления вала на станке, сведены в табл. 1.

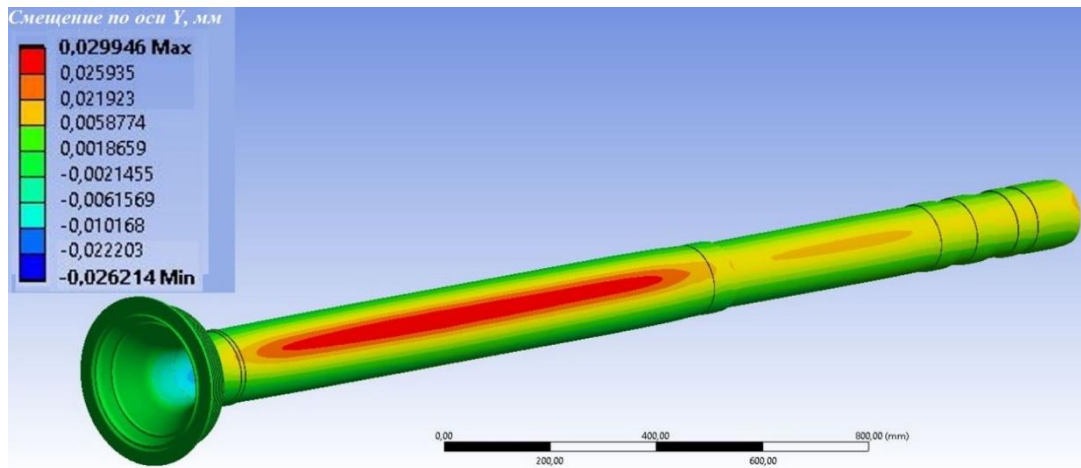


Рис. 3. Разрез сборной виртуальной модели вала НД

Таблица 1. Результаты расчёта величин смещений контура вала НД относительно исходного контура, вызванные действием остаточных напряжений

	Максимальное смещение, мкм			
	по оси X (вдоль вала НД)	по оси Y	по оси Z	суммарное
Вычисления без учёта радиального биения	151,6	3,0	23	153
Вычисления с учётом значительного радиального биения	432,5	2670,7	31,3	2698,5

Следующим этапом был удалён припуск, отведённый под токарную обработку, и был выполнен дополнительный расчёт, пример которого показан на рис. 4, а результаты сведены в табл. 2.

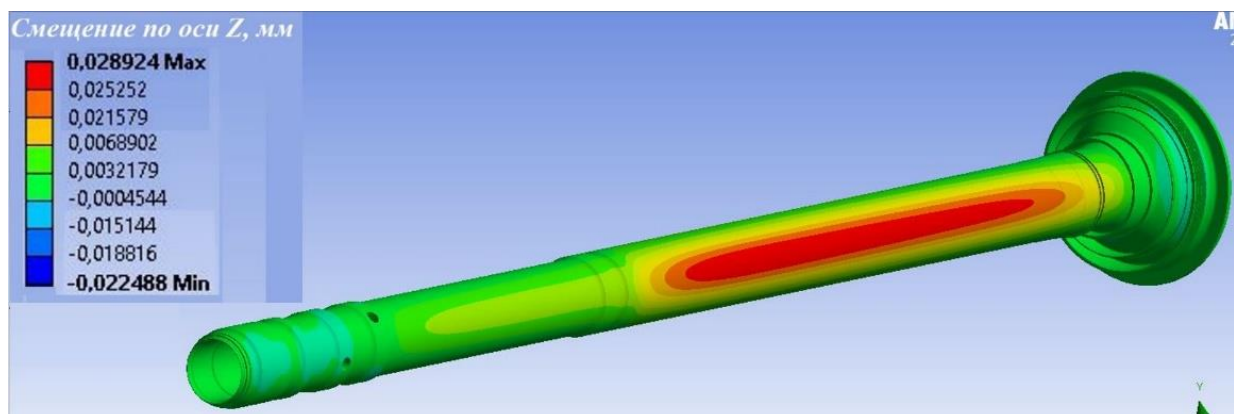


Рис. 4 – Разрез сборной виртуальной модели вала НД

Таблица 2. Результаты расчёта величин смещений контура вала НД относительно исходного, после снятия припуска токарной обработкой

	Максимальное смещение, мкм			
	по оси X (вдоль вала НД)	по оси Y	по оси Z	суммарное
Вал имеет только консольное закрепление	73	46	101	132
Вал дополнительно поджимается	17	21	29	30

Таким образом, в работе была выполнена главная задача поставленного исследования, а именно, была разработана методика, позволяющая отслеживать динамику изменения контура вала ГТД в рамках технологической наследственности в зависимости от изменяющихся полей распределения остаточных напряжений и их взаимного влияния в поверхностных слоях, формирующихся на различных этапах и условиях механической обработки детали.

### Библиографический список

1. Швецов, А. Н. Исследование состояния поверхностного слоя заготовок из стали 15X12H2MBФAB-Ш после процесса отделочно-упрочняющей обработки методом алмазного выглаживания / А. Н. Швецов, Д. Л. Скуратов // Сб. научных трудов. – Самарский университет. – 2021. – С. 211-212.
2. Букатый, А. С. Конечно-элементное моделирование и исследование остаточных напряжений и деформаций деталей после дробеструйного упрочнения / А. С. Букатый // Вестник машиностроения. – 2016. – №6. – С. 52-57.
3. Евдокимов, Д. В. Расчётное прогнозирование технологических остаточных деформаций лопаток ГТД на этапе конечного фрезерования / Д.В. Евдокимов, Д.Л. Скуратов, А.С. Букатый // Известия СНЦ РАН. – 2022. – №1. – С. 11-19.