

Должиков Д.С., аспирант,
Дуюн Т.А., д-р техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ФОРМЫ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ЛОНЖЕРОНА С УЧЕТОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ

tanduun@mail.ru

Представлены результаты экспериментальных исследований погрешности формы крупногабаритного изделия «лонжерон», являющегося силовым элементом конструкции самолета. Эксперимент проводился в производственных условиях при обработке партии деталей с применением действующего промышленного оборудования, технологической оснастки и инструмента. В качестве измерительного оборудования использовалась контрольно-измерительная машина высокой точности. Выявлены особенности формирования погрешности формы для партии обработанных деталей. Для обеспечения заданных параметров точности предложен подход с учетом технологической наследственности, позволяющий учитывать последовательное действие всех технологических операций и изменение параметров точности в процессе выполнения технологического маршрута.

Ключевые слова: крупногабаритные изделия, лонжерон, погрешность формы, экспериментальные статистические исследования, технологическая наследственность.

Введение. Обеспечение параметров точности изготавливаемых изделий является первоочередной задачей машиностроения на современном этапе. Технологическое управление – один из основных методов повышения точности [1–7].

Лонжерон – основной силовой элемент конструкции крупногабаритных изделий, таких как самолеты, автомобили, вагоны, мосты, корабли и др., располагающийся по длине конструкции.

Конструктивно-силовая схема фюзеляжа самолета состоит из таких элементов, как лонжероны, стрингеры и шпангоуты. В паре со стрингерами лонжероны образуют продольный набор крыла, фюзеляжа, оперения, руля и элеронов самолета. Обтекатель килевой балки, в состав которой входит лонжерон заднего крылышка (рис. 1) является неотъемлемой составляющей хвостовой части самолета, придавая ей наиболее обтекаемую форму и повышая аэродинамические свойства самолета.

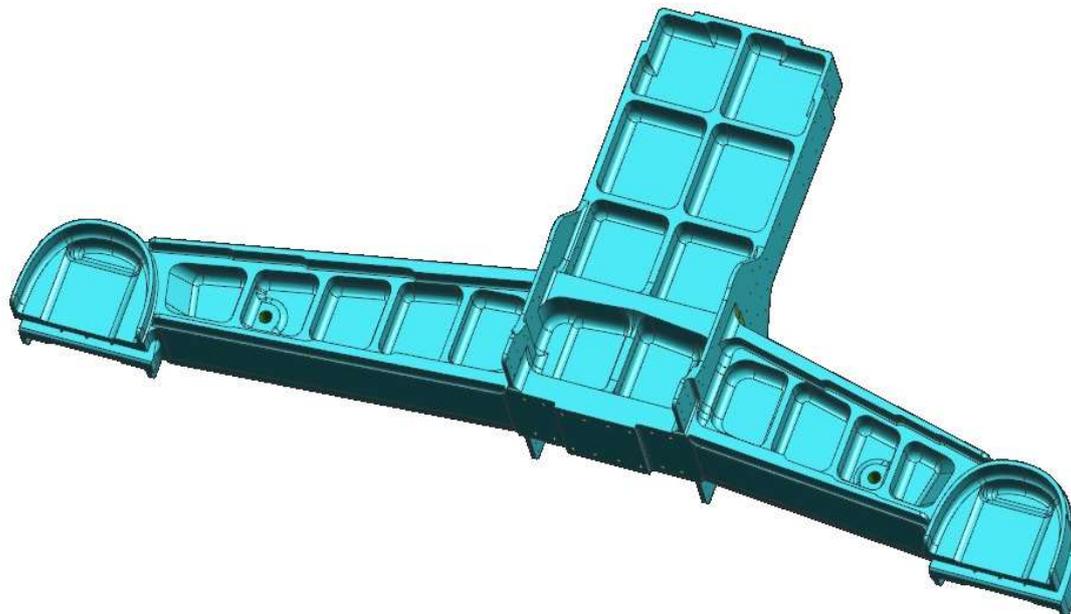


Рис. 1. Объемная модель лонжерона

Конструктивно лонжерон может быть выполнен монолитным или сборным. Сборный лонжерон имеет верхний и нижний пояс, а также стенку, в случае коробчатого сечения стенок две.

Пояса соединяются со стенкой путём клёпки, болтовых соединений, точечной электросварки

или склейки. Пояса работают на растяжение-сжатие от изгибающего момента, они составляют большую часть площади сечения лонжерона.

В качестве материала лонжерона применяют, как правило, алюминиевый сплав АК6ч, химические и механические свойства которого представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Химический состав (масс. %) сплава АК6ч (остальное — Al)ГОСТ 4784–97

| Fe | Si | Mn | Ni | Cr | Ti | Mn | Cu | Mg | Zn | Другие элементы |
|-----|---------|---------|-----|----|-----|---------|---------|---------|-----|-----------------|
| 0,4 | 0,7-1,2 | 0,4-0,8 | 0,1 | - | 0,1 | 0,4-0,8 | 1,8-2,6 | 0,4-0,8 | 0,3 | - |

Таблица 2

Физико-механических свойств поковок алюминиевого сплава марки АК6ч

| | |
|--|-------|
| Плотность ρ , (кг/м ³) · 10 ⁻³ | 2,7 |
| Температура плавления $T_{пл}$, °С | 660 |
| Теплопроводность λ , Вт/м·°С (при 20 °С) | 228 |
| Теплоемкость C_p , Дж/(г·°С) (при 0–100 °С) | 0,88 |
| Предел прочности σ_b , МПа | 40–60 |
| Относительное удлинение d , % | 40–50 |
| Твердость по Бринеллю HB | 25 |

Основная часть. Основной проблемой при изготовлении крупногабаритных тел сложной пространственной формы, таких как лонжерон, является обеспечение точности размеров и взаимного расположения поверхностей. В процессе выполнения механических и термических операций изделие подвергается воздействию силовых и тепловых факторов, которые формируют сложное напряженно-деформированное состояние, изменяющееся во времени по ходу технологического маршрута. Поэтому параметры качества необходимо контролировать на каждом этапе с целью корректировки технологических режимов и условий проведения операций.

Маршрутный технологический процесс изготовления лонжерона содержит следующие основные операции:

1. Ультразвуковой входной контроль материала заготовки (служит для выявления внутренних дефектов заготовки до выполнения механической обработки).

2. Фрезерная ЧПУ (черновая обработка изделия, позволяющая получить основные габаритные размеры).

3. Контрольная операция (ультразвуковой контроль материала и промежуточный контроль размеров).

4. Термическая обработка (выполняется закалка и старение для увеличения прочности и пластичности).

5. Фрезерная ЧПУ (получистовая и чистовая обработка изделия, обеспечивающая получение всех основных контролируемых параметров).

6. Контрольная операция (окончательный контроль выдерживаемых размеров с использованием контрольно-измерительной машины).

Основными контролируемыми параметрами при изготовлении лонжерона являются:

- шероховатость поверхностей;
- точность размеров и взаимного расположения поверхностей;
- физико-механические свойства поверхностных слоев (твердость);
- однородность физико-механических свойств основного материала (отсутствие внутренних пустот).

В производственных условиях ЗАО «Сокол-АТС» был выполнен натурный статистический эксперимент по выявлению отклонений от геометрической формы при изготовлении партии деталей «лонжерон». Все детали партии обрабатывались в идентичных условиях с одинаковыми технологическими режимами. Схема проведения измерений представлена на рис. 2. Отклонение от формы измерялось в 14 точках по ребрам жесткости. Для выполнения измерений отклонений от заданной геометрической формы использовалась контрольно-измерительная машина FaroArm-Prime6 (рис. 3), имеющая высокую точность измерений. Повторяемость точки, т.е. максимальное абсолютное отклонение измеренной точки от среднего значения в тесте на конусе составляет 0,019 мм. Результаты проведенных измерений представлены в табл. 3.

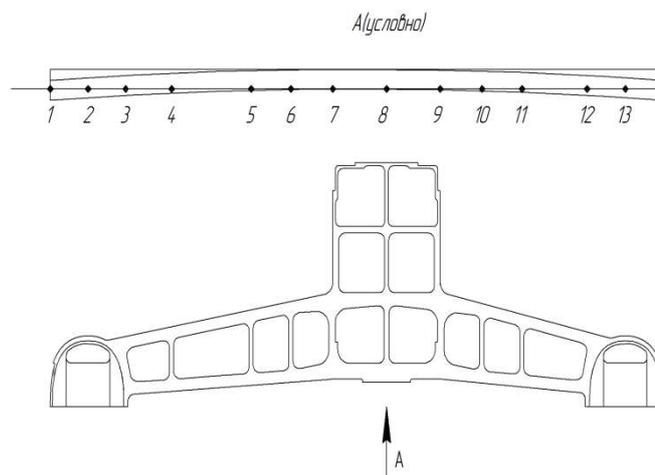


Рис. 2. Схема измерения отклонения от плоскости в контрольных точках



Рис.3. Контрольно-измерительная машина FaroArmPrime 6

Таблица 3

Статистические данные измерений точности формы при изготовлении партии деталей

| № | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|----------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Координата | -842,5 | -657 | -540 | -440 | -340 | -240 | -117,8 | 0 | 117,8 | 240 | 340 | 420 | 507 | 692,5 |
| Результаты измерений | -1,57 | -0,68 | -0,29 | -0,17 | -0,06 | -0,01 | 0,04 | 0 | 0,05 | 0,06 | 0,02 | -0,07 | -0,12 | -0,94 |
| | 0,89 | 0,51 | 0,45 | 0,39 | 0,24 | 0,21 | 0,1 | 0 | 0,05 | 0,16 | 0,23 | 0,31 | 0,4 | 0,74 |
| | 0,8 | 0,38 | 0,34 | 0,29 | 0,14 | 0,06 | 0,05 | 0 | 0,07 | 0,15 | 0,15 | 0,23 | 0,28 | 0,45 |
| | 0,76 | 0,46 | 0,24 | 0,2 | 0,11 | 0,17 | 0,08 | 0 | 0,04 | 0,13 | 0,19 | 0,07 | 0,2 | 0,4 |
| | 0,81 | 0,48 | 0,28 | 0,27 | 0,2 | 0,13 | 0,12 | 0 | 0,01 | -0,03 | 0,01 | -0,03 | -0,04 | 0,15 |
| | 1,06 | 0,57 | 0,37 | 0,21 | 0,11 | 0,07 | 0,01 | 0 | -0,09 | 0,04 | 0,06 | 0,11 | 0,17 | 0,53 |
| | 0,92 | 0,51 | 0,32 | 0,2 | 0,04 | 0,05 | -0,06 | 0 | -0,04 | 0,02 | -0,01 | 0,08 | 0,34 | 0,54 |
| | -0,68 | -0,25 | 0,04 | 0,02 | 0,06 | 0,11 | 0,06 | 0 | 0,03 | 0,06 | 0,07 | 0,02 | -0,12 | -0,58 |
| | 0,4 | 0,33 | 0,39 | 0,22 | 0,15 | 0,09 | 0,02 | 0 | 0,07 | 0,09 | 0,25 | 0,39 | 0,54 | 0,76 |
| | 1,5 | 0,61 | 0,4 | 0,17 | 0,04 | -0,01 | -0,03 | 0 | -0,01 | 0,05 | 0,13 | 0,26 | 0,44 | 1,1 |
| | -0,76 | -0,51 | -0,30 | -0,05 | -0,02 | -0,01 | 0,01 | 0 | 0,00 | -0,04 | -0,03 | -0,08 | -0,37 | -0,82 |
| | 0,92 | 0,84 | 0,64 | 0,48 | 0,25 | 0,13 | -0,02 | 0 | 0,07 | 0,26 | 0,4 | 0,55 | 0,62 | 0,54 |
| | 1,19 | 0,76 | 0,5 | 0,3 | 0,15 | 0,05 | -0,02 | 0 | 0,04 | 0,1 | 0,21 | 0,32 | 0,48 | 0,74 |
| | -0,5 | 0,01 | 0,15 | 0,16 | 0,13 | 0,09 | 0,06 | 0 | -0,01 | -0,04 | -0,09 | -0,14 | -0,26 | -0,74 |

Особенностью конструкции лонжерона является сложная пространственная форма, наличие большого количества объемных внутренних полостей, соединенных тонкими стенками. Чередование операций механической и термической обработки приводит к перераспределению внутренних напряжений, что оказывает существенное влияние на точность относительного расположения поверхностей. На рис.4. представлено пространственное отклонение измеряемой поверхности. Анализируя результаты, можно сделать вывод, что при одинаковых технологических условиях проведения операций погрешность

формы для отдельных деталей партии имеет существенные отличия, наблюдается выпуклость, вогнутость и коробление. Это объясняется в первую очередь сложной пространственной формой крупногабаритного изделия, а также «индивидуальной историей» технологических воздействий для каждой отдельной детали.

В процессе изготовления изделие проходит через ряд состояний, характеризующихся параметрами качества. Каждая операция технологического процесса приводит к изменению этих параметров. В любой момент времени состояние изделия определяется конечным числом свойств.

Любое состояние при этом необходимо рассматривать как результат состояний, имевших место в прошлом. При этом каждую технологическую операцию необходимо рассматривать в тополо-

гическом плане, с учетом временной истории изменения параметров качества. Кроме того, необходимо учитывать синергетические эффекты одновременного воздействия нескольких факторов.

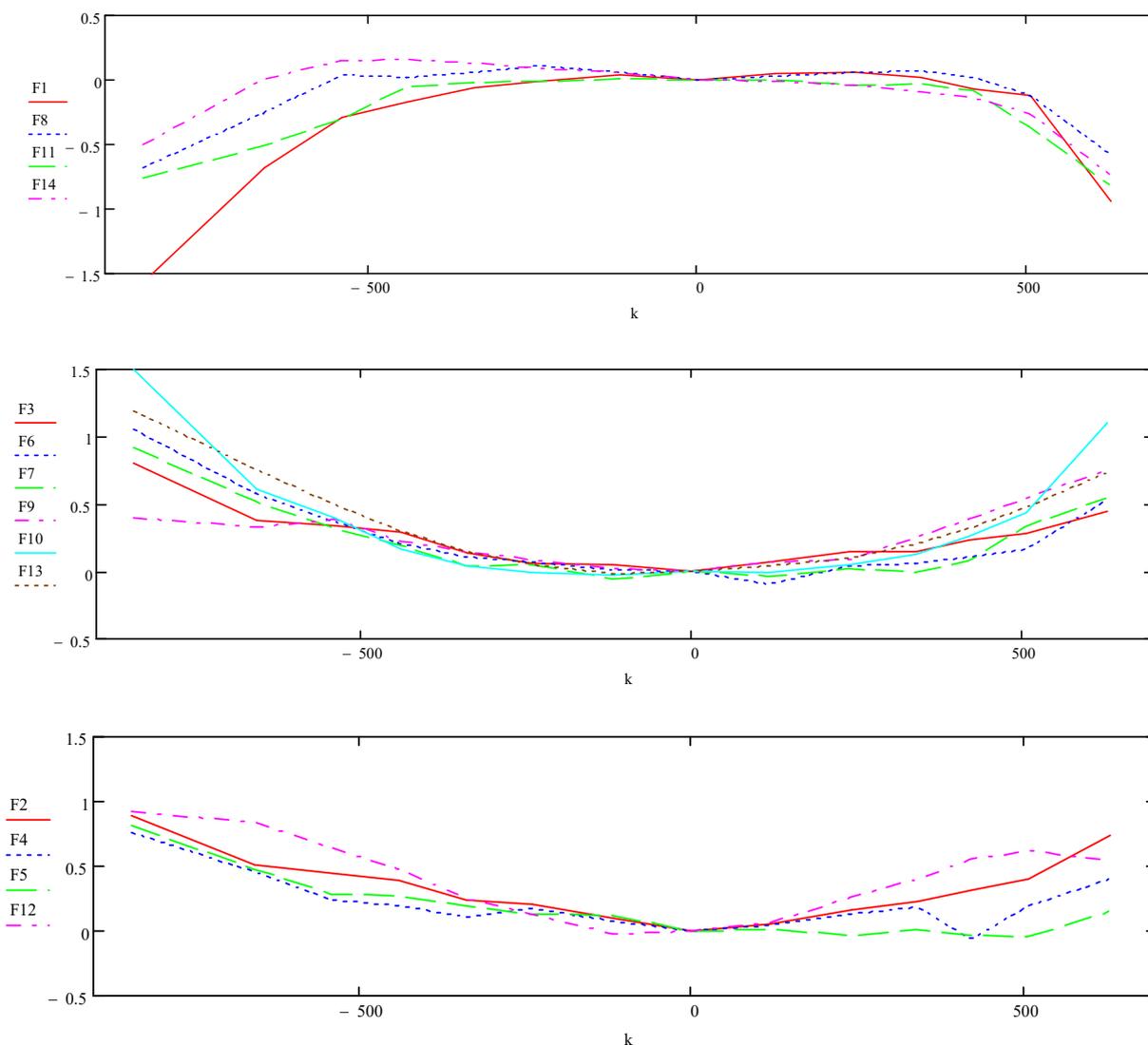


Рис. 4. Графическое представление погрешности формы для партии деталей «лонжерон»

Рассмотрим формирование точности формы фасонной поверхности лонжерона с учетом технологической наследственности, а также с учетом факторов, влияющих на формирование точности формы при выполнении каждой технологической операции. Представим вышеуказанные взаимосвязи в виде графа и структурной схемы (рис. 5). Основными операциями технологического процесса, на которых обеспечивается точность формы контактной поверхности, являются операции фрезерования. На данных операциях формируются все выдерживаемые размеры, а также микрорельеф поверхностей. Существенное

влияние на пространственные отклонения оказывает также исходная заготовительная операция и операция термообработки, так как на указанных операциях происходит исходное формирование и перераспределение внутренних напряжений, влияющих на точность формы.

Для обеспечения параметров точности необходимо учитывать действие технологической наследственности. Это означает, что все операции и их технологические переходы следует рассматривать не изолированно, а во взаимосвязи, так как конечные характеристики формируются всем комплексом технологических воздействий.

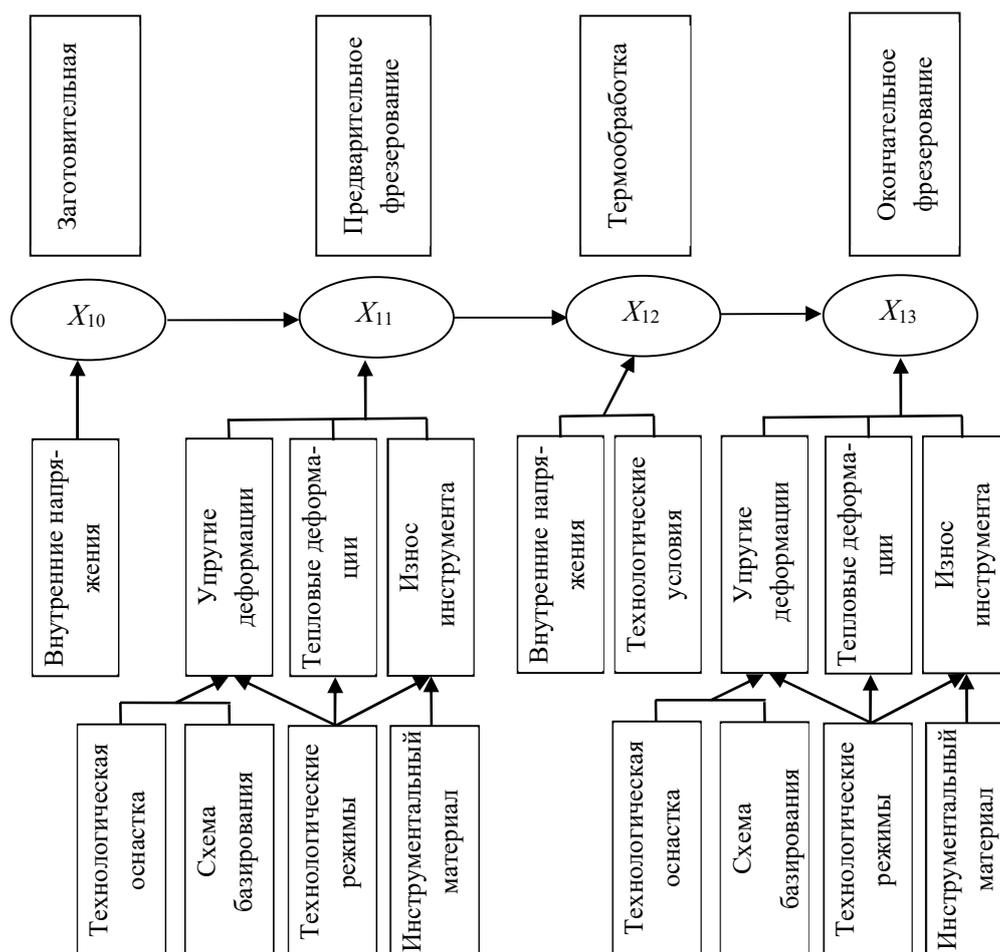


Рис. 2. Структурная схема формирования точности при изготовлении лонжерона

Каждая вершина графа отображает одно из свойств, изменяющееся в ходе технологического процесса. Ориентированные ребра показывают изменение свойств между предыдущей и последующей операциями. Ориентированные ребра характеризуются передачей ребра, то есть коэффициентом, показывающим количественное изменение свойства. В общем виде изменение параметров качества можно представить:

$$X_p = X_{p-1} / k_{p-1},$$

где X_p и X_{p-1} – параметры качества изделия после действующей и предшествующей операции соответственно; k_p – коэффициент технологической наследственности предшествующей операции (коэффициент передачи ребра).

Заключение. Полученные результаты экспериментального исследования погрешности формы крупногабаритного изделия «лонжерон» показывают необходимость учета технологической наследственности при обеспечении параметров точности. Для достижения требуемых параметров необходимо ввести в технологический процесс дополнительную промежуточную операцию контроля для возможности корректировки

технологических условий и режимов на окончательной операции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дуюн Т.А. Технологическое обеспечение точности формы контактной поверхности коллектора электродвигателя // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Тематический выпуск «Актуальные проблемы машиностроения». 2010. С. 346–349.
2. Дуюн Т.А., Максимов Д.А., Схиртладзе А.Г. Обеспечение параметров качества при обкатывании медной поверхности коллектора // Ремонт, восстановление, модернизация. 2010. №6. С. 26–30.
3. Дуюн Т.А. Технологическое обеспечение точности формы контактной поверхности коллектора электродвигателя // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Наука и образование. 2010. №1. С. 181–187.
4. Дуюн Т.А., Гринек А.В., Рыбак Л.А. Обеспечение надежности работы щеточно-коллекторного узла электрических машин постоянного тока с учетом технологической и эксплуатационной наследственности // Приводная техника. 2009. №2. С. 13–18.

5. Бешевли О.Б., Дуюн Т.А. Влияние технологических параметров на температурный режим и получаемое качество поверхности при фрезеровании баббита // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. №2 С. 112–117.

6. Бешевли О.Б., Дуюн Т.А. Оптимизация технологических параметров при фрезеровании баббита в условиях ремонтной обработки опорной поверхности скольжения крупногабаритных

подшипников // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №8 С. 142–148.

7. Лозовая С.Ю., Бешевли О.Б., Дуюн Т.А., Воробьев Н.Д. Обеспечение технологических параметров фрезерования баббита при ремонтной обработке крупногабаритных подшипников скольжения // Фундаментальные исследования. 2015. №9 (часть 2). С. 273–278.

Dolzhirov D.S., Duyun T.A.

ENSURING ACCURACY OF THE FORM AT PRODUCTION OF THE LONGERON TAKING INTO ACCOUNT TECHNOLOGICAL HEREDITY

Results of pilot studies of an error of a form of the large-size product "longeron" which is a power element of a design of the plane are presented. The experiment was made under production conditions when processing kit of parts with use of the operating industrial equipment, the industrial equipment and the tool. As the measuring equipment the control and measuring device of high precision was used. Features of formation of an error of a form for party of the processed details are revealed. For ensuring the set parameters of accuracy the approach taking into account technological heredity allowing to consider consecutive action of all technological operations and change of parameters of accuracy in the course of performance of a technological route is offered.

Keywords: large-size products, longeron, form error, pilot statistical studies, technological heredity.

Должиков Денис Сергеевич, аспирант кафедры технологии машиностроения
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.
E-mail: dance92bull@ya.ru

Дуюн Татьяна Александровна, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии машиностроения.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.
E-mail: tanduun@mail.ru