

Научноёмкие технологии в машиностроении. 2022. №7 (133). С. 17-26.
Science intensive technologies in mechanical engineering. 2022. №7 (133). P. 17-26.

Научная статья
УДК 621.9(075)
doi: 10.30987/2223-4608-2022-1-7-17-26

Повышение эффективности изготовления деталей при параллельной работе конструктора и технолога

Вячеслав Феоктистович Безъязычный¹, д.т.н.,
Евгений Владимирович Растегаев², к.т.н.

¹Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьёва, Рыбинск, Россия

²НПО «ОДК-Сатурн» Рыбинск, Россия

¹technology@rsatu.ru, <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

²evgeny.rastegaev@uec-saturn.ru, <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

Аннотация. Излагается методика проектирования технологического процесса изготовления корпусных деталей газотурбинных авиационных двигателей с учётом технологичности её конструкции при совместной параллельной работе технолога и конструктора. Приведён алгоритм обеспечения технологичности детали на этапе её проектирования при совместной инженерной разработке конструкции и технологии изготовления.

Ключевые слова: газотурбинный авиационный двигатель, корпусная деталь, технологичность детали, параллельная инженерная работа конструктора и технолога

Для цитирования: Безъязычный В.Ф., Растегаев Е.В. Повышение эффективности изготовления деталей при параллельной работе конструктора и технолога // Научноёмкие технологии в машиностроении. – 2022. – №7 (133). – С. 17-26. doi: 10.30987/2223-4608-2022-1-7-17-26

Original article

Parts production upgrading through a combination of designer and product engineer's joint work paralleled

Vyacheslav F. Bezjazychniy¹, Dr. Sc. Tech.,
Evgeny V. Rastegaev², Can. Sc. Tech.

¹Rybinsk State Aviation Technical University named after P.A. Solovyov, Rybinsk, Russia

²SPA «UEC-Saturn» Rybinsk, Russia

¹technology@rsatu.ru

²evgeny.rastegaev@uec-saturn.ru

Abstract. Design technique for technological process of manufacturing body parts of gas turbine aircraft engines is described, taking into account its design workability, technologist and designer's joint work paralleled. The algorithm of ensuring part adaptability to manufacture at the stage of its designing with joint engineering development of the design and manufacturing technology paralleled is given.

Keywords: gas turbine aircraft engine, body part, manufacturability of the part, parallel engineering work of the designer and technologist

For citation: Bezjazychniy V.F., Rastegaev E.V. Parts production upgrading through a combination of designer and product engineer's joint work paralleled. / Science intensive technologies in Mechanical Engineering, 2022, no.7 (133), pp. 17-26. doi: 10.30987/2223-4608-2022-1-7-17-26

Введение

Параллельная инженерная разработка (concurrent engineering) – это систематизированный организационно-технический подход, обеспечивающий интегрированное и в значительной степени одновременное проектирование как самих изделий, так и процессов их производства. Суть этого подхода заключается не только в командной работе всех служб предприятия на всех этапах разработки изделия, начиная с формирования концепции его разработки, но и в необходимости технического наполнения содержания процесса. Основным преимуществом данного подхода является проектирование изделия на заданную себестоимость его изготовления. При таком подходе оказание взаимного влияния процессов настолько сильно, что нельзя говорить об этапе проектирования конструкторской документации, как об этапе, предшествующем этапу разработки технологических процессов.

Если говорить об организационной составляющей данного подхода, то она отнимает значительное время и является стратегической концепцией развития предприятия, требующей вложения значительных инвестиций на ранних стадиях развития с получением значительного эффекта только после организации процесса. Техническая сторона рассматриваемого подхода состоит в инструментальном обеспечении процесса и в построении зависимостей технологического обеспечения эксплуатационных свойств изделий для внедрения их в конструкторско-технологический процесс разработки документации. Эта сторона вопроса является наименее исследованной в настоящее время и очень комплексной. Ее изучение и моделирование процессов будет изучаться еще долгие годы и в одной исследовательской работе ее не охватить целиком. Поэтому данная работа посвящена поиску определяющих факторов оценки производственной технологичности детали на основе совместной работы конструктора и технолога по разработке конструкторской и технологической документации на этапе технологической подготовки производства.

Содержание исследования

В данном исследовании выполнен анализ работ технолога и конструктора по обеспечению показателей эксплуатационных свойств деталей машин, рассмотрено имеющееся программное обеспечение, задействованное в процессе технологической подготовки производства и автоматизации принятия решений, выполнен анализ научных работ и производственного опыта по обеспечению технологичности в условиях параллельной инженерной разработки. Все эти научные подходы правильные, но в то же время имеют ряд недостатков: они либо оказываются замкнуты на обеспечение поиска и выбора рациональной технологии изготовления деталей по существующей конструкторской документации; либо предлагают обобщенные правила конструирования деталей без учета индивидуальных технологических возможностей производства; либо решают вопросы ремонтной или эксплуатационной технологичности, а не производственной.

По результатам анализа сделан вывод, что проблема обеспечения технологичности является актуальной, особенно при создании сложных технологических систем. Одним из инструментов обеспечения технологичности является параллельная инженерная разработка. Для выполнения параллельной инженерной разработки в настоящее время широко изучена организационная часть, техническая же часть требует детальной проработки и множества дополнительных исследований.

На основе сходства процессов обеспечения технологичности детали при разработке рабочей конструкторской документации и процесса планирования боевых операций, выполнена разработка алгоритма обеспечения технологичности детали на этапе проектирования (рис. 1) и методики взаимодействия конструктора и технолога при проектировании документации.

Задача обеспечения технологичности детали решается в два этапа. На первом этапе, исходя из конструктивных требований и выбранных критериев технологичности, определен наиболее рациональный технологический процесс изготовления детали, из числа рассматриваемых. Для выбранного технологического решения, на втором этапе, выполнено

сравнение технологичности изготовления базовой и вновь спроектированной детали по обобщенному критерию технологичности.

На первом этапе выбор наиболее рационального решения предлагается выполнять по результату сравнения расчетов оценки по каждому из выбранных вариантов технологического процесса изготовления детали по формуле:

$$P_j = \sum_{i=1}^N (T_i a_i U_i), \quad (1)$$

где P_j – оценочный параметр каждого из вариантов технологического процесса изготовления детали; T_j – относительное значение частного критерия технологичности; a_i – весовой коэффициент важности критерия технологичности; U_i – вероятность обеспечения значения частного критерия технологичности; N – количество учитываемых, частных критериев технологичности.

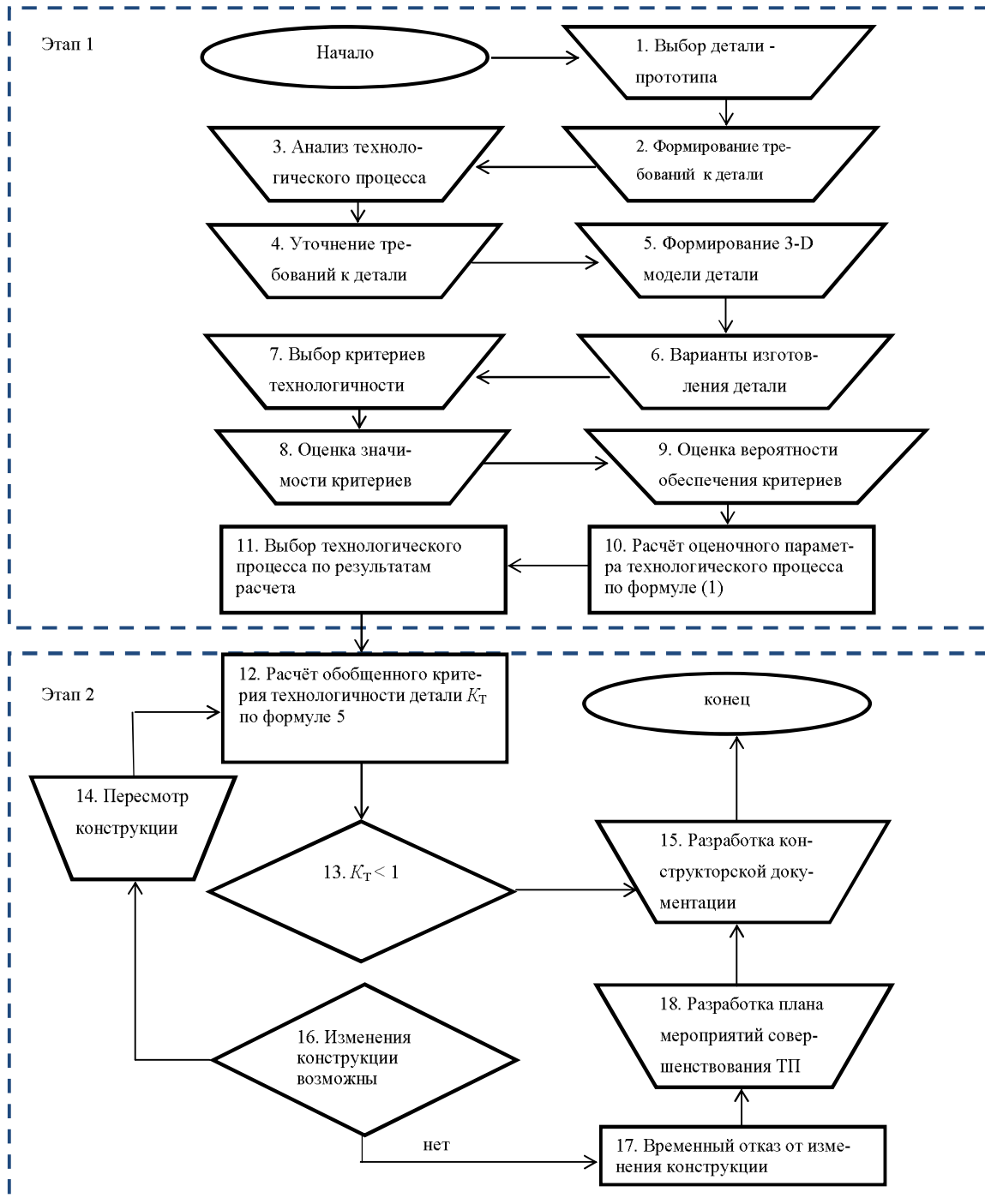


Рис. 1. Алгоритм обеспечения технологичности детали на этапе её проектирования

Признается более эффективным тот технологический процесс, по которому оценочный параметр P_j будет наибольшим. Расчёт весовых коэффициентов важности критериев технологичности a_i – предлагается выполнять по методу анализа матрицы попарных сравнений собственных векторов. Для выполнения оценки выполняется попарное сравнение рассматриваемых критериев с учетом итеративного процесса Бержа:

$$A = \|a_{ij}\|, a_{ij} \in \{0, 1, 2\}, \quad (2)$$

где $a_{ij} = 0$ означает превосходство критерия K_j над критерием K_i ; $a_{ij} = 1$ означает равноценность критериев K_j и K_i ; $a_{ij} = 2$ означает превосходство критерия K_i над критерием K_j . Результаты оценки сведены в табл. 1.

1. Оценка значимости критериев технологичности

Критерии значимости	Критерий № 1	Критерий № 2	...	Критерий № N
Критерий № 1	–	a_{12}	...	a_{1N}
Критерий № 2	a_{21}	–	...	a_{2N}
...	–	...
Критерий № N	a_{N1}	a_{N2}	...	–

По результатам заполнения матрицы (см. табл. 1) выполняется расчет весовых коэффициентов важности по формуле:

$$a_i = \frac{\sum_{j=1}^N a_{ij}}{\sum_{j=1}^N (\sum_{j=1}^N a_{ij})}, \quad (3)$$

Оценку вероятности обеспечения расчётных значений критериев технологичности предлагается производить в соответствии с табл. 2.

2. Критерии оценки вероятности достижения заданных параметров технологичности

№ п/п	Критерий оценки вероятности	Вероятность достижения
1	Достижение заданного критерия подтверждено испытаниями аналогичных конструкций и апробированной технологией	1
2	Достижение заданного критерия подтверждено точными расчетами или моделированием процесса	0,8
3	Достижение заданного критерия основывается на мнении эксперта, подтвержденное цифрами	0,6
4	Достижение заданного критерия основывается на мнении эксперта на основе рассуждений	0,4
5	Достижение заданного критерия основывается на предположении эксперта	0,2

При количественной оценке производственной технологичности серийного производства на втором этапе предлагается использовать многокритериальную модель, в основе которой лежит себестоимость изготовления детали:

$$K_T = \frac{C_H}{C_6} (1 + a_1 + a_2 + \dots + a_n), \quad (4)$$

где C_H и C_6 – себестоимость изготовления

новой и базовой детали соответственно, руб.; a_1, a_2, a_n – безразмерные поправочные коэффициенты, зависящие от индивидуальных особенностей производства.

При расчёте поправочных коэффициентов для существующего серийного производства корпусных деталей предлагается учитывать время, затрачиваемое на индивидуальные технологические решения, затраты на первичное оснащение и циклы изготовления деталей.

При $K_T < 1$ технологичность разработанной конструкции детали на существующем производстве выше технологичности базовой детали. Результат такого совершенствования будет положительный. При $K_T > 1$ технологичность разработанной конструкции детали на существующем производстве ниже технологичности базовой детали. В этом случае конструкцию детали необходимо доработать.

В соответствии с предложенным алгоритмом разработки конструкторско-технологической документации разработана следующая методика взаимодействия конструктора и технолога:

1. Конструктор оформляет двухмерный эскиз будущей детали и передает его технологу с указанием детали прототипа.

2. Технолог определяет возможность изготовления детали, определяет процессы, которые будут задействованы при ее изготовлении и дает рекомендации конструктору.

3. Конструктор выполняет разработку 3D модели детали, организует выполнение необходимых расчетов по детали: прочности, жесткости и других и передает 3D модель детали технологу.

4. Технолог определяет возможные варианты изготовления детали и составляет возможные маршруты ее изготовления.

5. Совместно с конструктором технолог определяет критерии оценки технологичности, значимость этих критериев и вероятность достижения выбранных критериев. По результатам оценки выбирается наиболее целесообразный из выбранных вариантов изготовления детали.

6. Если выбранный вариант отличается от маршрута изготовления базовой детали, технологом выполняется расчет обобщенного критерия технологичности. По результатам расчета принимается решение по сохранению базовой технологии изготовления или внедрения вновь разработанного маршрута

изготовления детали. Результаты сообщаются конструктору.

7. Если выбранный вариант по п. 5 оказывается забракованным в соответствии с расчетом обобщенного критерия технологичности, то конструктор совместно с технологом определяют целесообразность проведения дополнительных работ по освоению новых и совершенствованию существующих процессов с тем, чтобы в будущем была возможность вернуться к рассматриваемому вопросу.

8. Конструктор приступает к разработке рабочей конструкторской документации с нанесением размеров. Результаты работы согласовывает с технологом.

В табл. 3 приведено соответствие действий выполнения разработки рабочей конструкторской документации по предлагаемому алгоритму выполнения (см. рис. 1) и методики взаимодействия конструктора и технолога.

На основе анализа разработанного маршрутного технологического процесса изготовления корпусной детали газотурбинного двигателя цилиндрического типа выявлен комплекс основных противоречий между требованиями конструктора и технолога, предъявляемых к таким деталям. Установлено, что основные проблемы со стабильностью процессов возникают на стыке процессов: формообразования, сварки, механической обработки. Установлена возможность прогнозирования качества изготовления деталей на этапе формирования маршрутного технологического процесса их изготовления на основе анализа существующих статистических данных.

Выявлены частные критерии производственной технологичности, наибольшим образом влияющие на технологичность изготовления корпусных деталей в условиях параллельной инженерной разработки для существующего производства, и получена формула для расчета обобщенного критерия технологичности выбранной группы деталей:

$$K_T = \frac{C_{\text{н}}}{C_{\text{б}}} \left\{ 1 + k_1 \cdot \left(\frac{T_{\text{ин}}^{K_5} - T_{\text{ио}}^{K_5}}{T_{\text{б}}^{K_5}} \right) + k_2 \cdot \frac{\Delta Z_{\text{п}}}{C_{\text{б}}} + k_3 \cdot \frac{\Delta \Pi_{\text{д}}}{\Pi_{\text{б}}} + k_4 \cdot \frac{\Delta \Pi_{\text{и}}}{\Pi_{\text{и}}} \right\}, \quad (5)$$

где $k_1 \dots k_5$ – коэффициенты, зависящие от индивидуальных особенностей производства; $T_{\text{ин}}$ и $T_{\text{ио}}$ – усредненное время, затрачиваемое на индивидуальные технические решения для устранения возможных несоответствий вновь спроектированной и базовой детали соответственно, мин; $T_{\text{б}}$ – трудоёмкость изготовления базовой детали, мин; $\Delta Z_{\text{п}}$ – разница

затрат на первичное оснащение новой и базовой детали, тыс. руб; $\Delta \Pi_{\text{д}}$ – разница в циклах изготовления новой и базовой детали, дней; $\Pi_{\text{б}}$ – цикл изготовления базовой детали, дней; $\Delta \Pi_{\text{и}}$ – величина изменения цикла изделия при изменении конструкции детали, дней; $\Pi_{\text{и}}$ – цикл изготовления изделия с конструкцией базовой детали, дней.

3. Взаимодействие конструктора и технолога при разработке рабочей конструкторской документации в условиях параллельной инженерной разработки

№ п/п	Действия, выполняемые по алгоритму	Исполнитель	Результат выполнения
1	Выбор детали прототипа	Конструктор	Двумерный эскиз детали с указанием детали прототипа
2	Формирование требований к детали		
3	Анализ технологического процесса	Технолог	Перечень процессов для изготовления детали. Рекомендации, связанные с возможностью и особенностями изготовления.
4	Уточнение требований к детали	Конструктор	3D модель. Предварительные данные по расчётам детали на прочность, жесткость и т.д.
5	Формирование 3D модели детали		
6	Формирование вариантов изготовления	Технолог	Варианты изготовления детали и маршруты изготовления
7	Выбор критериев технологичности	Технолог, конструктор	Критерии оценки технологичности, значимость этих критериев и вероятность их достижения.
8	Оценка значимости критериев		
9	Оценка вероятности достижения выбранных критериев		
10	Расчёт оценки по формуле (1)	Технолог	Выбор наиболее рационального технологического процесса изготовления детали из предложенных.
11	Выбор технологического процесса по результатам расчёта		
12, 13	Расчёт обобщенного критерия технологичности по формуле 4	Технолог	Определение какой процесс в настоящее время более технологичен для существующего производства: выбранный или базовый (по детали – прототипу).
14, 16, 17,	Если базовый технологический процесс оказался по результатам расчёта более технологичен, чем выбранный по п.10 таблицы, то выполняется анализ возможности пересмотра конструкции	Конструктор	Пересмотр конструкции или временный отказ от ее изменения.
18	Если принято решение о временном отказе от изменения конструкции детали, то разрабатывается план мероприятий совершенствования технологического процесса	Технолог	План мероприятий совершенствования технологических процессов
15	Разработка рабочей конструкторской документации	Конструктор	Рабочая конструкторская документация

В качестве примера была оценена технологичность изготовления переднего корпуса компрессора газотурбинного двигателя (рис. 2) по методике, описанной в данной работе.

Заготовка детали прототипа: отливка. Способ литья: в песчаные формы. Материал детали прототипа: 10X18H11БЛ ГОСТ 977-88. Масса заготовки: 202,3 кг. Масса готовой детали: 85 кг. Габаритные размеры детали прототипа: Ø 616 x 220 мм. Партионность изготовления 12 шт/год.

Проанализировав данные по количеству и видам доработок (исправлений) на изготовленных деталях технолог выявил, что среднее время, затрачиваемое на индивидуальное исправление корпусов, составит 32,9 часа.



Рис. 2. Передний корпус компрессора ГТД

Проанализируем правильность назначения материала и способа получения заготовки с точки зрения технологичности изготовления отливки. Выбор материала и способа литья (в песчаные формы), выполнены правильно. Однако в рассматриваемой стали 10X18H11БЛ присутствует значительное количество этих элементов: хрома – 17...20 %; никеля – 8...12 %, которые придают детали коррозионную стойкость. Также в рассматриваемой стали присутствует легирующий элемент – ниобий в количестве 0,45...0,9 %. Присутствие данного легирующего элемента в стали увеличивает такие требуемые характеристики, как прочность и коррозионную стойкость, но при этом уменьшают жидкотекучесть сплава.

Таким образом, склонность отливки к образованию раковин определена изначально выбором материала. В совокупности со сложностью конструкции детали мы получаем в готовой детали несоответствия, которые недопустимы для постановки данной детали на изделие без дополнительных мероприятий по устранению несоответствий. При этом часть несоответствий может быть выявлена и устранена заваркой дефектов непосредственно в отливке, а часть дефектов может быть выявлена только после механической обработки детали. Устранение литейных дефектов сваркой после механической обработки детали зачастую сопровождается изменением геометрии детали, ее короблением. В этом случае после устранения литейных дефектов приходится устранять несоответствия в размерах деталей, вызванные короблением.

Технолог производственного подразделения, на основе имеющейся статистики по качеству изготовления детали прототипа и опыта, предложил к рассмотрению три варианта изготовления детали:

- по прототипу – из отливки (сталь 10X18H11БЛ);
- сварную конструкцию (сталь 08X18H10Т);
- из цельной поковки (сталь 08X18H10Т).

Сталь 08X18H10Т также является коррозионно-стойкой как и сталь 10X18H11БЛ, прочностные характеристики у нее выше, чем у стали 10X18H11БЛ (490 МПа > 441 МПа) При этом, согласно [1], у данной стали более низкие литейные свойства, но более хорошая обрабатываемость резанием, чем у стали 10X18H11БЛ (K_v)ТС = 1,1) при удовлетворительной пластичности (K_d = 4).

Таким образом, при обработке стали 08X18H10Т скорость резания может быть увеличена по сравнению со скоростью резания стали 10X18H11БЛ ГОСТ 977-88 в 1,52 (1,1/072) раза при условиях одинаковой стойкости пластинки из твёрдого сплава. Конструктор подтвердил возможность использования предложенных сталей для изготовления детали

Сварная конструкция корпуса (рис. 3) состоит из наружной и внутренней обечайки 1, 3, свариваемых стоек 2 и привариваемых наружных фланцев 4. Далее технолог выполнил оценочный расчет себестоимости изготовления деталей каждым способом.

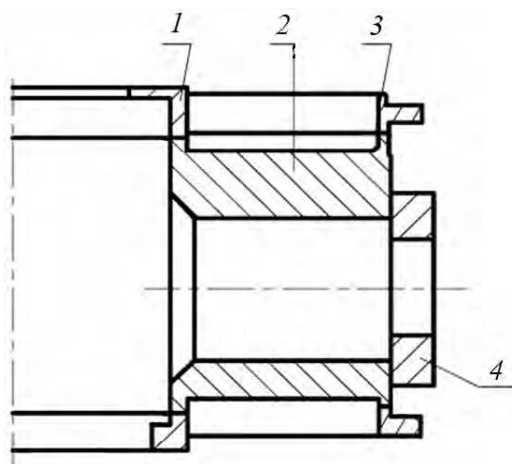


Рис. 2. Передний корпус компрессора ГТД

Изготовление заготовки из отливки. Материал 10X18H11БЛ ГОСТ 977-88. Масса заготовки 202,3 кг. Масса готовой детали 85 кг. Трудоемкость снятия одного килограмма стружки 1,15 кг/ч. Коэффициент обрабатываемости материала 0,72. Партия запуска: 3 шт, коэффициент, зависящий от партии запуска $K_{ПМ}$ = 1,4. Коэффициент зависящий от массы детали K_B = 0,15. Трудоемкость черновой механической обработки 39,4 часа. Трудоемкость чистовой механической обработки 8,2 ч. Трудоемкость остальных работ (испытания, слесарная обработка и др.) – 29 ч. Общая трудоемкость изготовления детали 76,6 ч. Цеховая себестоимость изготовления детали без учёта стоимости материала 153,2 тыс. руб (при стоимости часа собственных работ – 2,0 тыс. руб/ч). Стоимость заготовки 212,5 тыс. руб (при группе сложности отливки – 4). Стоимость стружки 2,1 тыс. руб (при стоимости 18 руб/кг). Итого, себестоимость изготовления составляет 363,6 тыс. руб.

Сварная конструкция заготовки. Количество свариваемых деталей на одну сборочную единицу 24 шт, материал 08X18H10T. Количество сварных швов 103, общая длина швов 10 м. Заготовки: 2 шт. покупные раскатные кольца (для изготовления обечаек), остальные заготовки поковки. Оценочная суммарная масса заготовок составляет 343 кг. Коэффициент обрабатываемости материала 1,1. Трудоёмкость черновой механической обработки 75,3 ч, трудоёмкость чистовой механической обработки 30,6 ч. Трудоёмкость сварки 22,3 ч. Трудоёмкость остальных работ (испытания, слесарная обработка и др.) – 29 ч. Общая трудоёмкость изготовления 157,2 ч. Цеховая себестоимость изготовления детали без учета стоимости материала 314,4 тыс. руб. Стоимость заготовки 67,3 тыс. руб. Стоимость стружки 4,6 тыс. руб. Итого, себестоимость изготовления составляет 377,1 тыс. руб.

Заготовка: поковка. Масса заготовки 546 кг, материал 08X18H10T. Трудоёмкость черновой механической обработки 101,2 ч, трудоёмкость чистовой обработки 24,5 ч. Трудоёмкость остальных работ (испытания, слесарная обработка и др.) – 29 ч. Общая трудоёмкость изготовления 154,7 ч. Цеховая себестоимость изготовления детали без учёта стоимости материала 309,4 тыс. руб. Стоимость заготовки 102,1 тыс. руб (при стоимости 187 руб/кг). Стоимость стружки 8,3 тыс. руб. Итого, себестоимость изготовления составляет 403,2 тыс. руб.

Для рассматриваемого в примере случая результаты расчетов критериев технологичности сведены в табл. 4, в которой введено понятие стабильности технологического процесса, которое определяется как отношение разности трудоёмкости изготовления и времени, затрачиваемого на индивидуальные технические решения, к трудоёмкости изготовления детали.

4. Критерии технологичности

	Вариант № 1	Вариант № 2	Вариант № 3
Себестоимость изготовления, тыс. руб.	363,6	377,1	403,2
Трудоёмкость изготовления, час	76,6	157,2	154,7
Стабильность технологического процесса	0,57	0,97	0,99
Цикл изготовления, дней	30	40	35

Расчёт весовых коэффициентов важности выбранных критериев технологичности для рассматриваемого примера выполнен по методике Бержа и представлен в табл. 5.

5. Расчёт весовых коэффициентов важности

№ критерия технологичности		Описание критерия технологичности				
№ 1		Себестоимость изготовления				
№ 2		Стабильность технологического процесса				
№ 3		Трудоёмкость изготовления				
№ 4		Цикл изготовления				
Номер критерия	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	Расчёт по формуле (3)	
№ 1	–	2	2	2	0,4375	
№ 2	0	–	2	2	0,3125	
№ 3	0	0	–	2	0,1875	
№ 4	0	0	0	–	0,0625	

Для нашего примера выполнена оценка вероятности обеспечения критериев технологичности в соответствии с оценочными данными по табл. 2. Результаты сведены в табл. 6. Расчёт оценки каждого из вариантов изготовления детали выполняет технолог по формуле (1). Результаты расчётов для рассматриваемого примера сведены в табл. 7.

6. Оценка вероятности обеспечения критерия технологичности

	Вариант № 1	Вариант № 2	Вариант № 3
Себестоимость изготовления	0,8	0,8	0,8
Стабильность технологического процесса	1	0,8	0,8
Трудоёмкость изготовления	0,8	0,8	0,8
Цикл изготовления	0,6	0,6	0,6

7. Сравнение итоговых значений оценочного параметра технологичности (P_i) для рассматриваемых вариантов изготовления корпуса

	Вариант № 1	Вариант № 2	Вариант № 3
Итоговый расчёт параметра (P_i) по формуле (1)	0,85	1,15	1,17

По результатам расчета (см. табл. 7) для рассматриваемого примера итоговый оценочный параметр (P_i) у второго и третьего варианта изготовления деталей оказываются больше первого и приблизительно равные друг другу, поэтому дальнейшую оценку технологичности в соответствии с алгоритмом будем производить для этих вариантов изготовления

деталей. Для выполнения расчета требуется определить затраты на изготовление специальных средств технологического оснащения по каждому из вариантов технологического процесса на основании статистических данных. Результаты расчета затрат на технологическое оснащение сведены в табл. 8.

8. Затраты на изготовление специальных средств оснащения

	Вариант № 1	Вариант № 2	Вариант № 3
Количество приспособлений для механической обработки, шт.	2	2	2
Оценочная стоимость единицы оснастки, тыс. руб.	623	623	623
Количество приспособлений для сварки, шт.	0	1	0
Оценочная стоимость единицы оснастки, тыс. руб.		945	
Итого, затраты на первичное оснащение, тыс. руб.	1246	2191	1246

Задачу по расчёту обобщенного критерия технологичности выполняет технолог. Для расчёта этого критерия технологичности необходимые данные сведены в табл. 9. Результаты расчётов по формуле (5) для рассматриваемого примера сведены в табл. 10.

9. Данные для расчёта обобщенного критерия технологичности

	Вариант № 1	Вариант № 2	Вариант № 3
Себестоимость, тыс. руб.	363,6	377,1	403,2
Трудоемкость изготовления, час	76,6	157,2	154,7
Время, затрачиваемое на индивидуальные технические решения, час	32,9	4,7	1,5
Затраты на первичное оснащение, тыс. руб.	1246	2191	1246
Партия изготовления деталей, шт./год	12	12	12

10. Результаты расчета обобщенного критерия технологичности

Коэффициент технологичности K_T для сравнения второго варианта изготовления относительно первого	Коэффициент технологичности K_T для сравнения третьего варианта изготовления относительно первого	Коэффициент технологичности K_T для сравнения третьего варианта изготовления относительно второго
0,029	0,011	1,040

Как видно по результатам расчета обобщенного коэффициента технологичности K_T , второй и третий вариант изготовления детали оказались технологичнее первого варианта, а при сравнении третьего относительно второго варианта изготовления детали технологичнее оказался второй

вариант изготовления ($1,040 > 1$). Таким образом, было принято решение, что в условиях существующего производства наиболее эффективным из рассматриваемых решений будет изготовление сборочной единицы из сварной заготовки.

Заклучение

Разработанный алгоритм обеспечения технологичности детали на этапе разработки рабочей конструкторской документации в условиях параллельной инженерной разработки целесообразен к внедрению в условиях специализации производства на изготовлении группы деталей, имеющих схожие технологические процессы изготовления. Для такого производства должны быть классифицированы все выпускаемые детали, разработаны типовые совершенствоваться и улучшаться процессы, задействованные в изготовлении этих деталей за счет приобретения нового высокопроизводительного оборудования и оснастки, а также внедрения прогрессивного режущего инструмента. технологические процессы, а также определены базовые детали-прототипы.

По базовым деталям-прототипам должны собираться статистические данные, характеризующие стабильность технологических процессов. Также должны постоянно совершенствоваться и улучшаться процессы, задействованные в изготовлении этих деталей за счет приобретения нового высокопроизводительного оборудования и оснастки, а также внедрения прогрессивного режущего инструмента.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кондаков, А.И., Васильев, А.С. Выбор заготовок в машиностроении, 2007. – 560 с.

REFERENCES

1. Kondakov A.I., Vasiliev A.S. Choosing pieces in mechanical engineering: a guide, 2007, 560 p. (in Russian).

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 20.04.2022; одобрена после рецензирования 27.05.2022; принята к публикации 01.06.2022.

The article was submitted 20.04.2022; approved after reviewing 27.05.2022; assepted for publication 01.06.2022.

