

процесс изготовления делаая научноёмким и рентабельным.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Силин С.С. Метод подобия при резании материалов. М.: Машиностроение, 1979. 152 с.
2. Безъязычный В.Ф. Метод подобия в технологии машиностроения. М: Машиностроение, 2012. 320 с.
3. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. М.: Машиностроение, 1970. 400 с.
4. Волков С.А. Технологическое обеспечение заданных эксплуатационных свойств деталей путём оптимизации маршрута и условий обработки / Дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. Рыбинск, 2003. 215 с.

REFERENCES

1. Silin, S.S., *Similarity Method at Material Cutting*. M.: Mechanical Engineering, 1979. pp. 152.
2. Bezyazychny, V.F., *Similarity Method in Engineering Techniques*. M: Mechanical Engineering, 2012. pp. 320.
3. Malinin, N.N., *Applied Theory of Plasticity and Creep*. M.: Mechanical Engineering, 1970. pp. 400.
4. Volkov, S.A., Technological support of specified performance attributes of parts through route and processing conditions optimization / *Thesis for the Competition of Can.Eng. Degree*. Rybinsk, 2003. pp. 215.

Рецензент д.т.н. В.П. Фёдоров

УДК 621.9.06.
DOI: 10.12727/18099

Б.М. Базров, д.т.н.
(ФГБУН ИМАШ им. А.А. Благонравова РАН, Россия, 101990,
Москва, Малый Харитоньевский пер., д. 4)
E-mail: modul_lab@mail.ru

Проблема обеспечения технологичности изделия

Приводится анализ состояния вопроса технологичности конструкции изделий, показана необходимость разработки теоретических основ обеспечения технологичности изделий и их содержания.

Ключевые слова: технологичность; конструкция; изделие; деталь; метод; трудоемкость; себестоимость.

B.M. Bazrov, D.Eng.
(Blagonravov FSBEISRMASH RAS,
4, Maly Kharitonievsky Alleyway, 101990, Moscow, Russia.)

Problem in product manufacturability

In the paper there is considered a system approach absence in the support of manufacturability of a product structure taking into account all stages of its life (manufacturing, operation and utilization), drawbacks of structure manufacturability assessment. It is established that some factors of manufacturability do not reflect in an explicit form connections between structure characteristics of a product and manufacturability indices. There is shown a necessity in the development of theoretical fundamentals ensuring a product structure manufacturability taking into account all stages of a life cycle. The ties between the indices of manufacturability, structure characteristics and techniques of every stage of a product life cycle are established.

Keywords: manufacturability; design; product; part; method; labour-intensiveness; cost price.

Технологичность изделия оказывает большое влияние на его эффективность на всех этапах жизненного цикла.

Вопросу технологичности изделия посвящены многочисленные работы [1–3] и др., основное количество которых опубликовано в XX веке.

Их анализ показал наличие разных формулировок понятия «технологичность», слабое раскрытие связей между характеристиками конструкции изделия и его технологичностью. Многие коэффициенты технологичности от-

ражают их связь с характеристиками конструкции в неявном виде, приводимые многочисленные рекомендации по повышению технологичности конструкции носят частный характер. Большинство работ посвящено технологичности изделия на этапе его изготовления и очень мало работ, посвященных технологичности изделия на этапах его эксплуатации и утилизации.

Кроме того, перечисленная информация разбросана по множеству источников и не объединена в единую систему. Все это суще-

ственно снижает эффективность использования разработок в обеспечении технологичности изделий.

В связи с изложенным, актуальна задача разработки теоретических основ обеспечения технологичности конструкций изделий.

Теоретические основы должны включать понятийный аппарат, факторы, влияющие на технологичность конструкции изделия, связи между факторами и показателями технологичности, методы оценки технологичности конструкции и методы обеспечения и повышения технологичности и др.

Основным является понятие технологичности изделия. В разных источниках формулировки технологичности существенно отличаются друг от друга

К примеру, в работе [4] «под технологичностью следует понимать конструкцию, состоящую из *простых* сборочных единиц, *удобных* для выполнения работ по их сборке, и деталей, форма которых является наиболее *простой* и позволяющей при изготовлении использовать высокопроизводительные способы получения заготовок и механической обработки».

Недостатками этой формулировки является то, что она учитывает только один этап жизненного цикла изделий, а также включает такие понятия, как простые, удобные, не раскрывающие собственные характеристики конструкции изделия.

В работе [5] «Технологичность – это совокупность свойств изделия, определяющих приспособленность его конструкции к достижению оптимальных затрат ресурсов при его производстве, ремонте и утилизации». Эта формулировка более приемлема, так как охватывает весь жизненный цикл изделия.

К замечаниям этой формулировки следует отнести замену этапа эксплуатации, которая включает техническое обслуживание и ремонт, а так же не учитывает такой важный фактор, как возможность изготовления изделия имеющимися технологиями.

В работе [3] приводится следующая формулировка технологичности – «совокупность свойств конструкции изделия, определяющих ее приспособленность к достижению оптимальных затрат при производстве, техническом обслуживании и ремонте для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ». В этой формулировке отсутствует этап утилизации изделия.

Непонятно, к чему относится показатель качества. Если это относится к характеристике

изделия, то в этом нет необходимости. А если эту характеристику изделия включать, то тогда надо включать и другие его характеристики.

В связи с изложенным, предлагается следующая формулировка понятия технологичности изделия: *технологичность изделия – это показатель качества изделия, характеризующий возможность изготовления его конструкции имеющимися технологиями, и ее приспособленность к достижению оптимальных расходов ресурсов на всех этапах жизненного цикла изделия в заданных условиях.*

Таким образом, понятие технологичности изделия отражает, во-первых, возможность изготовления конструкции и, во-вторых, оптимальные расходы ресурсов на изделия с учетом всех этапов его жизненного цикла при заданных условиях.

Важным вопросом при разработке теоретических основ является определение требований к конструкции изделия, предъявляемых технологичностью.

Здесь надо отметить две стороны технологичности конструкции изделия – комплексность и относительность.

Комплексность технологичности изделия заключается в том, что ее надо учитывать на всех этапах жизненного цикла и находить оптимальное решение.

Относительность технологичности конструкции изделия заключается в том, что она зависит от уровня технологии и условий, в которых изготавливается, эксплуатируется и утилизируется изделие.

Например, если одно и то же изделие изготавливается на разных предприятиях с разным уровнем технологии, то на одном предприятии изделие будет технологичным, а на другом – нетехнологичным.

То же самое будет на одном предприятии при изготовлении изделий в разных объемах. При изготовлении пяти деталей применяется одна технология, а при изготовлении этой же детали в количестве десяти тысяч штук будет другая. Соответственно и технологичность конструкция деталей в первом случае окажется нетехнологичной во втором случае.

Комплексность и относительность технологичности вызывают противоречия между требованиями к конструкции изделия. Эти противоречия возникают не только от этапа к этапу жизненного цикла изделия, когда требования к технологичности конструкции изделия на этапе изготовления могут противоре-

чить требованиям к конструкции на этапе эксплуатации и утилизации, но в пределах одного этапа.

Например, технологичная конструкция детали при получении заготовки может быть нетехнологичной при ее обработке, а технологичность конструкции детали при обработке может оказаться нетехнологичной при сборке.

Важным разделом в теоретических основах является метод оценки технологичности конструкции изделия. Для ее оценки используют многочисленные коэффициенты.

Например, для оценки технологичности конструкции изделия как сборочной единицы используются следующие коэффициенты [3]:

1. Коэффициент легкосъемности составных частей:

$$K_{лс} = \sum_i^N t_i / T_{т.о(р)},$$

где t_i – трудоёмкость i -й составной части изделия при техническом обслуживании и ремонте; N – число составных частей изделия, требующих технического обслуживания; $T_{т.о(р)}$ – общая трудоёмкость изделия в техническом обслуживании.

2. Коэффициент доступности мест обслуживания:

$$K_{д} = T_o / (T_o + T_{всп}),$$

где T_o – трудоёмкость изделия в основных операциях изготовления (технического обслуживания и ремонта); $T_{всп}$ – трудоёмкость изделия во вспомогательных операциях изготовления (техническое обслуживание и ремонт).

3. Коэффициент контролепригодности:

$$K_{к} = T_{о.к} / (T_{о.к} + T_{всп.к}),$$

где $T_{о.к}$ – трудоёмкость изделия в основных операциях технического контроля; $T_{всп.к}$ – трудоёмкость изделия во вспомогательных операциях технического контроля.

4. Коэффициент сборности представлен в виде отношения сборочных единиц изделия к общему числу его составных частей:

$$K_{сб} = \frac{E}{E + D};$$

где E – число сборочных единиц в изделии; D – число деталей в изделии.

5. Коэффициент разноразмерности элементов при монтаже вне предприятия изготовителя:

$$K_{рв} = \sum_{i=1}^N m_i / (N m_{max}),$$

где m_i – масса i -й поставляемой составной части (элемента) изделия; m_{max} – масса наи-

большей составной части элемента изделия; N – число поставляемых составных частей изделия.

6. Коэффициент применяемости унифицированных составных частей изделия:

$$K_{пр}^{с.ч} = \frac{E_y + D_y}{E + D},$$

где $E_y = E_{y.з} + E_{y.п} + E_{ст}$ – число унифицированных сборочных единиц изделия; $D_y = D_{y.з} + D_{y.п} + D_{ст}$ – число унифицированных деталей являющихся составными частями изделия и не вошедших в E_y (стандартные крепежные детали не учитываются); $E_{y.з}$ и $D_{y.з}$ – число заимствованных унифицированных сборочных единиц и деталей соответственно; $E_{y.п}$ и $D_{y.п}$ – число покупных унифицированных сборочных единиц и деталей соответственно; $E_{ст}$ и $D_{ст}$ – число стандартных сборочных единиц и деталей соответственно; $E = E_y + E_{ор}$ – число сборочных единиц в изделии; $D = D_y + D_{ор}$ – число деталей являющихся составными частями изделия не вошедших в E ; $E_{ор}$ и $D_{ор}$ – число оригинальных сборочных единиц и деталей соответственно.

7. Коэффициент применяемости стандартных составных частей изделия:

$$K_{пр}^{с.ч.ст} = \frac{E_{ст} + D_{ст}}{E + D},$$

где $E_{ст} = E_{ст.з} + E_{ст.п} + E_{ст.и}$ – число стандартных сборочных единиц в изделии; $D_{ст} = D_{ст.з} + D_{ст.п} + D_{ст.и}$ – число стандартных деталей, которые являются составными частями изделия и не входят в $E_{ст}$ (стандартные крепежные детали не учитываются); $E_{ст.з}$ и $D_{ст.з}$ – число заимствованных стандартных сборочных единиц и деталей соответственно; $E_{ст.п}$ и $D_{ст.п}$ – число стандартных сборочных единиц и деталей соответственно; $E_{ст.и}$ и $D_{ст.и}$ – число сборочных единиц и деталей, стандартизация которого осуществлена в процессе разработки изделия.

8. Коэффициент повторяемости составных частей изделия равен:

$$K_{пов}^{с.ч} = 1 - Q / (E + D),$$

где $Q_{с.ч}$ – число наименований составных частей; $(E+D)$ – общее число составных частей в изделии.

9. Коэффициент типизации конструктивного исполнения характеризует преемственность данного исполнения изделия по отношению к множеству его исполнений по составу и структуре и определяется по формуле:

$$K_{тип}^{к.и} = Q_{с.к} / Q_{с.к}^{т.п},$$

где $Q_{с.к}$ – число структурных компонентов (элементов и связей между ними) в данном исполнении изделия, соответствующих компонентам типового представителя группы исполнений; $Q_{с.к}^{м.п}$ – общее число компонентов типового представителя группы однотипных исполнений изделия. Для типового представителя группы исполнений $K_{тип}^{к.п} = 1$.

10. Коэффициент конструктивной сложности:

$$K_{сн} = M / M_a,$$

где M и M_a – число составных частей в исполнении разрабатываемого образца и аналога изделия соответственно.

11. Коэффициент распределения допуска между изготовлением и монтажом:

$$K_{р.д} = 1 - \delta_n / D_m,$$

где δ_n – монтажный допуск; δ_n – погрешность изготовления (суммарный допуск на отклонение формы и расположения) поверхностей оборудования. Используется для оценки технологичности оборудования поставляемого частями при ($\delta_n \geq D_m$) показатель считается равным нулю.

12. Коэффициент применяемости материала в изделии определяется как отношение суммарной массы данного материала к общей массе конструкции изделия:

$$K_{пр}^м = M_i / M.$$

Каждый коэффициент характеризует технологичность конструкции через соответствующий ее показатель.

В итоге имеем следующий перечень показателей технологичности конструкции изделия: легкосъемность составных частей; доступность мест обслуживания; контролепригодность; сборность изделия; разновесность элементов; применяемость унифицированных составных частей; применяемость стандартных составных частей; повторяемость составных частей; типизация конструктивного исполнения; конструктивная сложность; распределение допусков на изготовление и монтаж; применяемость материала.

Анализ перечисленных показателей технологичности указывает на то, что некоторые из них отражают характеристики конструкции, влияющие на технологичность изделия в неявном виде. К ним относятся, например, легкосъемность, доступность, контролепригодность, сложность конструкции. Они дают оценку технологичности конструкции по ко-

нечному результату – трудоемкости, но не дают ответ на вопрос, какие изменения надо внести в конструкцию изделия, чтобы повысить ее технологичность.

Другой показатель – конструктивная сложность оказывает большое влияние на технологичность конструкции, коэффициент которого приведен далее.

Такая оценка конструктивной сложности имеет следующие недостатки, во-первых, изделие, принимаемое за аналог, не гарантирует, что его конструкция является лучшей, во-вторых, этот коэффициент не отражает структуру конструкции, по которой можно судить о сложности конструкции изделия.

Иными словами, при одном и том же значении коэффициента конструктивной сложности двух изделий, сложность конструкции одного изделия может существенно отличаться от сложности конструкции другого изделия.

Для определения требований к конструкции изделия, обеспечивающих ее технологичность, разработки методов обеспечения ее технологичности, необходимо установить связи между характеристиками конструкции и эффективностью изделия на всем его жизненном цикле.

Если принять за критерий эффективности минимум трудоемкости и себестоимости изготовления изделия, его эксплуатации и утилизации, то для определения уровня технологичности его конструкции нужно установить связи между ними и характеристиками конструкции.

Влияние характеристик конструкции изделия на трудоемкости и себестоимости происходит через технологию на каждом этапе жизненного цикла изделия. Для установления указанных связей сначала надо установить связи между показателями технологичности и характеристиками конструкции изделия.

Здесь надо отметить, что характеристики конструкции изделия делятся на две группы: одни характеризуют количественную сторону конструкции, например, количество деталей или узлов в изделии; другие характеризуют качество конструкции, например, уровень точности, прочности и т.п.

В связи с этим надо установить, с какой характеристикой конструкции связан каждый показатель технологичности. К примеру, показатель технологичности – применяемость унифицированных составных частей, показывает число унифицированных частей, участвующих в конструкции.

Ко второй группе относятся такие характеристики, как структура конструкции, материал элементов, их точность, прочность и др.

Теперь надо установить влияние каждой характеристики конструкции на технологию. Влияние конструкции на технологию происходит по двум направлениям: технологической подготовки и содержанию технологического процесса. Качественная характеристика конструкции сказывается на содержании технологического процесса, а количественная характеристика – на объеме технологической подготовки.

Таким образом, чем выше требования к качеству конструкции, тем выше трудоемкость ее изготовления; чем больше элементов в конструкции, тем больше трудоемкость технологической подготовки. Отсюда вытекают связи между характеристикой конструкции изделия и технологией.

Учитывая изложенное, в основу установления связей между технологичностью конструкции изделия, трудоемкостью и себестоимостью, можно использовать схему, приведенную на рис. 1.

Такую схему связей следует рассматривать на каждом этапе жизненного цикла изделия.

На этапе изготовления изделия технология – это технологическая подготовка производства и технологические процессы его изготовления.

На этапе эксплуатации изделия – это технологическая подготовка, включающая разработку технологических процессов и средств технического обслуживания, и ремонта изделия и их технологические процессы.

На этапе утилизации изделия – это технологическая подготовка, включающая разработку технологических процессов и средств технологического оснащения и технологические процессы утилизации.

Таким образом, трудоемкость и себестоимость изделия на всем жизненном цикле будет функцией трудоемкости и себестоимости всех этапов.

Установив связи между каждым показателем технологичности конструкции изделия и трудоемкостью, себестоимостью изделия, можно сформулировать требования к конструкции изделия, обеспечивающие ее технологичность, учитывая все этапы жизненного цикла изделия.

Далее следует разработать методы оптимизации конструкции изделия.

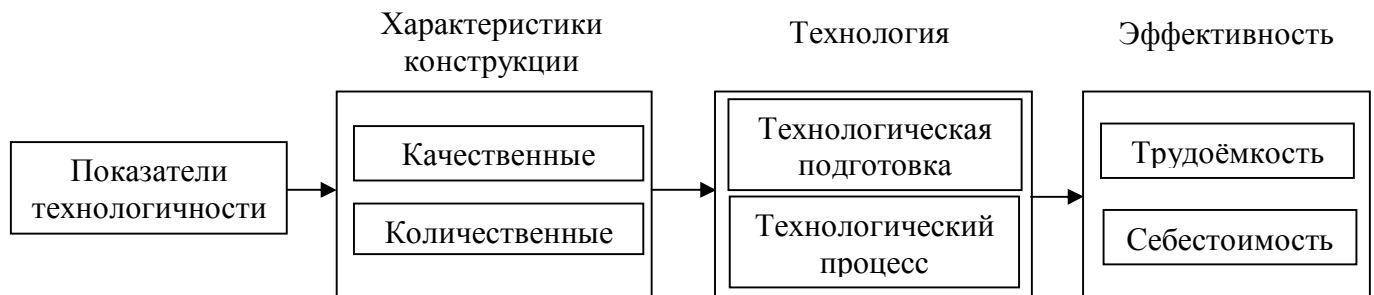


Рис. 1. Схема связей между показателями технологичности и эффективности изделий на этапе жизненного цикла

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Амиров Ю.Д. Технологичность конструкций изделий: справочник / Ю.Д. Амиров, Т.К. Алфёрова, П.Н. Волков. М.: Машиностроение, 1985. 368 с.
2. Рябов С.А., Глинка А.С. Технологичность конструкций: учеб. пособ. для студентов специальности 151001 «Технология машиностроения». Кемерово: КузГТУ, 2011. 64 с.
3. ГОСТ 14.205–83. ЕСТПП. Технологичность конструкций. Термины и определения. М.: Стандартинформ. 2009. 4 с.
4. Мовчин В.Н., Михайлов Г.М. Технология производства измерительных инструментов и приборов. М.: Машиностроение, 1974. 440 с.
5. Базров Б.М. Основы технологии машиностроения: учеб. для вузов. М.: Машиностроение, 2005. 736 с.

REFERENCES

1. Amirov, Yu.D., *Manufacturability of Product Design: Reference Book* / Yu.D. Amirov, T.K. Alfyorova, P.N. Volkov. M.: Mechanical Engineering, 1985. pp. 368.
2. Ryabov, S.A., Glinka, A.S. *Manufacturability of Design: Textbook for Students of Specialty 151001 “Engineering Techniques”*. Kemerovo: KuzSTU, 2011. pp. 64.
3. SARS 14.205–83. ESTPP. *Manufacturability of Design. Terms and Definitions*. M.: Standardinform. 2009. pp.4.
4. Movchin, V.N., Mikhailov, G.M., *Production Techniques of Sizing Tools and Devices*. M.: Mechanical Engineering, 1974. pp. 440.
5. Bazrov, B.M., *Techniques Fundamentals in Mechanical Engineering: Textbook for Colleges*. M.: Mechanical Engineering, 2005. pp.736.

Рецензент д.т.н. А.Н. Прокофьев