

УДК 621
ВАК 05.02.08

МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Михаил ВАРТАНОВ, Илья ЧУШЕНКОВ

Рассмотрены широко применяемые программные продукты для оценки производственной технологичности технически сложных изделий. Предложена программа для оценки трудоемкости изготовления крупногабаритных изделий на этапе конструкторско-технологической подготовки производства.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ И ОЦЕНКЕ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЯ

Согласно ГОСТ 14.205-83 под *технологичностью конструкции изделия* (ТКИ) понимают совокупность его свойств, определяющих приспособленность его конструкции к достижению оптимальных затрат ресурсов при производстве и эксплуатации для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ. Следует отметить, что технологичность выражает конструктивные, а не функциональные особенности изделия.

Изделие может рассматриваться как технологичное только в определенных условиях подготовки производства, таким образом, для обеспечения должного уровня технологичности желательно, чтобы условия производства были четко сформулированы.

Отработка изделия на технологичность является важным и обязательным этапом в жизненном цикле любого изделия. Фактически этап отработки изделия на технологичность является первым этапом технологической подготовки производства.

По области проявления технологичность может быть производственной, эксплуатационной, ремонтной и с позиций рециклинга. Далее под технологичностью конструкции изделия будем

рассматривать исключительно производственную технологичность, которая характеризует приспособленность конструкции изделия к снижению трудоемкости изготовления, в том числе механообработки, сборки и монтажа.

К настоящему времени инженерным сообществом осознано, что отработку на технологичность необходимо проводить, начиная с ранних стадий проектирования изделия. В настоящее время набирает популярность направление, называемое параллельным проектированием (concurrent/simultaneous engineering) [1, 2]. Методология параллельного проектирования предусматривает совмещение этапов жизненного цикла изделия, что позволяет не только снизить временные затраты на разработку изделия, но и улучшить аспекты качества изделия, что объясняется в значительной степени тесным сотрудничеством группы специалистов из различных областей. Сложность обеспечения технологичности связана с отсутствием формализованных процедур формирования технологичного изделия.

Технологичность конструкции изделия традиционно принято рассматривать на нескольких уровнях: сборочной единицы, соединений и деталей. В ряде руководств по оценке и обеспечению технологичности даются качественные рекомендации [3, 4].

Ключевые слова:

технологичность конструкции, производственная технологичность, показатели технологичности, система технологической подготовки производства

КЛАССИФИКАЦИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ

Под оценкой ТКИ понимают комплекс мероприятий, обеспечивающих выявление технологичности изделий в целом и по отдельным свойствам, сопоставление свойств анализируемого изделия с базовым и принятие решений по совершенствованию конструкции изделия. В зависимости от используемых методов оценки различают количественную и качественную оценку ТКИ.

Количественная оценка ТКИ выражается показателем, численное значение которого характеризует степень удовлетворения требований к ТКИ. Эта оценка рациональна для признаков, существенно влияющих на технологичность рассматриваемой конструкции.

Различают следующие группы показателей ТКИ: технологической рациональности конструкции изделия; преимущества конструкции изделия; производственной ТКИ; эксплуатационной ТКИ; ремонтной ТКИ; ТКИ при утилизации; общей ТКИ.

Основные показатели ТКИ характеризуют наиболее важные свойства, выражающие ее в целом. К ним относятся показатели трудоемкости, материалоемкости, энергоемкости и себестоимости изделия.

При оценке ТКИ могут быть использованы как абсолютные, так и относительные показатели. Абсолютными показателями пользуются при определении трудоемкости, материалоемкости и себестоимости изготовления.

Однако более распространены относительные показатели. Например, уровень ТКИ определяют соотношением вида:

$$y = \frac{K_{\text{пр}}}{K_6}$$

где $K_{\text{пр}}$ – показатель ТКИ проектируемого изделия; K_6 – показатель ТКИ базового изделия.

Различают также частные и комплексные показатели.

Частные показатели характеризуют только один признак технологичности, например, коэффициент унификации

$$K_y = \frac{D_y + C E_y}{D + C E}$$

где D_y , $C E_y$ – количество унифицированных деталей и сборочных единиц, входящих в изделие; D , $C E$ – общее количество деталей и сборочных единиц в изделии.

Комплексные показатели характеризуют определенную группу признаков ТКИ. Наиболее рас-

пространен на практике метод определения комплексного показателя, как средневзвешенной величины частных показателей [5]:

$$K = \frac{\sum K_{i\alpha} \times K_i}{\sum K_{i\alpha}}$$

где K_i – частный показатель технологичности; $K_{i\alpha}$ – коэффициент экономической эквивалентности.

При определении весовых оценок и значений признаков используют методы теории экспертизы. Комплексные показатели, в общем случае, определяют следующими методами:

- в виде произведения частных показателей или отношения произведения частных показателей к их количеству или сумме;
 - в виде среднеарифметической величины частных показателей с введением весовых коэффициентов;
 - на основании обработки статистических данных частных показателей методом корреляционного анализа;
 - по системе баллов, которыми оценивают показатели ТКИ для последующего определения технико-экономического показателя;
 - по системе уменьшения максимального значения показателя ТКИ при несоответствии конструкторско-технологических факторов изделия наиболее технологичной конструкции представителя.
- В соответствии с Единой системой технологической подготовки производства (ЕСТПП) главными факторами, определяющими требования к ТКИ, являются:
- вид изделия;
 - объем выпуска;
 - тип производства.

Требованиями ЕСТПП определено, что в зависимости от вида оценки устанавливается метод сравнения конструктивных решений и обоснованного выбора оптимального варианта конструкции изделия.

Вместе с тем ряд специалистов считает, что показатели ТКИ, в соответствии с ГОСТ 14.201-83, не дают полноценной оценки изделия с позиций трудоемкости его производства [6, 7]. Однако главным вопросом после количественной оценки ТКИ остается вопрос: какие именно изменения должны быть внесены в конструкцию изделия. Этот вопрос остается, как правило, без ответа. Данный недостаток присущ как отечественным, так и зарубежным методикам. Методология DFMA (Design for Manufacturing and Assembly, USA) также требует нескольких вариантов изделия для их сравнения [8].

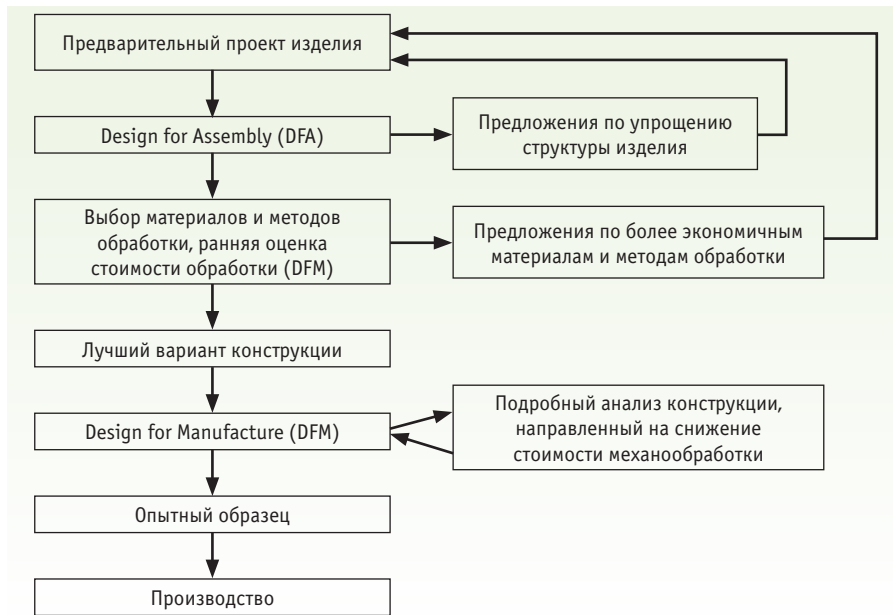


Рис. 1. Процесс DFMA-анализа изделия

Методика DFMA (Boothroyd and Dewhurst Inc., USA) является наиболее широко используемой и известной методикой оценки технологичности в мире. Методика базируется на двух основополагающих принципах: выявлении необходимости отделения детали от других частей и расчете стоимости механообработки и сборки изделия [9]. Типовая схема процесса DFMA показана на рис. 1.

Хотя DFMA получил признание в мировой промышленной практике, существует ряд критических замечаний в адрес методики. Так, например, мето-

дика позволяет уменьшить число деталей в сборочной единице, однако это часто достигается путем увеличения сложности изготовления других деталей. В случае изменения метода соединения и фиксации деталей необходимо проведение физических экспериментов.

Необходимость дальнейшего совершенствования методик оценки технологичности обусловлена также коренным изменением характера современного производства, ставшего многопредметным и переналаживаемым. Свои особенности оценка ТКИ имеет в условиях применения современных станков с ЧПУ. В настоящее время предпринимаются попытки создания количественной методики в условиях применения станков с ЧПУ [10]. Однако к настоящему времени лишь сформулированы факторы и не дана их количественная оценка.

Качественная сравнительная оценка вариантов конструкции допустима на всех стадиях проектирования, когда осуществляется выбор наилучшего конструктивного решения и не требуется определения степени различия технологичности сравниваемых вариантов [3]. Качественная оценка основана на инженерно-визуальных методах и проводится по отдельным конструктивным и технологическим

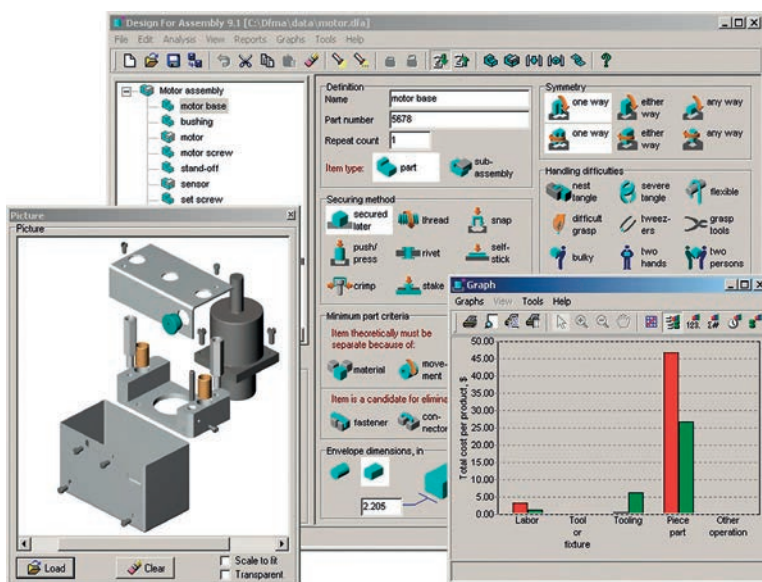


Рис. 2. Boothroyd Dewhurst Design For Assembly

признакам для достижения высокого уровня ТКИ. Она, как правило, предшествует количественной оценке, но вполне совместима с ней на всех этапах проектирования. Качественной оценке могут быть подвергнуты одно или несколько конструктивных решений. Качественная оценка одного конструктивного исполнения изделия («технологично – нетехнологично», «допустимо – недопустимо») дается на основании анализа соответствия его основным требованиям к производственной, эксплуатационной или ремонтной ТКИ. При сравнении конструктивных вариантов изделия в процессе проектирования качественная оценка часто позволяет выбрать лучший вариант исполнения или установить целесообразность затрат времени на определение численных значений показателей ТКИ всех сравниваемых вариантов.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ИЗДЕЛИЙ

К настоящему времени имеется лишь несколько коммерческих программных продуктов, решающих отдельные вопросы обеспечения технологичности. Помимо них существует небольшое число не распространяемых на коммерческой основе программ, среди которых можно отметить реализацию экспертной методики в виде деревьев решений, созданную при помощи программного продукта ГЭС «Сократ» [1]. Программа ориентирована на повышение технологичности деталей в условиях автоматизации производства, в процессе работы пользователю задается ряд вопросов относительно конструктивных особенностей деталей, на основе полученных ответов выдвигаются экспертные оценки в диапазоне от 0 до 1.

Для зарубежных методик Hitachi AEM, Lucas DFA, DFMA существуют коммерческие версии программных продуктов, реализующие соответствующие методики в электронном виде.

Единственным широкодоступным и наиболее функциональным пакетом программ, реализующим принципы DFA/DFM, является продукт фирмы Boothroyd Dewhurst Inc. Пакет поставляется в виде двух отдельных систем. Расчетная методика схожа с методом DFMA (рис. 2, 3).

Шведская компания Solme AB предлагает пакет Avix DFX (рис. 4).

Существует также аналогичный продукт, реализующий ту же методику оценки – DfMAS 2000 – немецкой компании Norbert Binke & Partner. Программа имеет более скромные возможности, чем описанные выше продукты, но базовая методика остается той же (рис. 5, 6).

Стоит отметить новый программный продукт DFMPRO фирмы Geometric Ltd. Он представляет собой не автономную программу, а модуль расширения для САПР пакетов (в настоящее время поддерживаются Pro/ENGINEER, NX и SolidWorks). Модуль представляет собой базу правил, помогающую выявлять ошибки проектирования в процессе работы над трехмерной моделью.

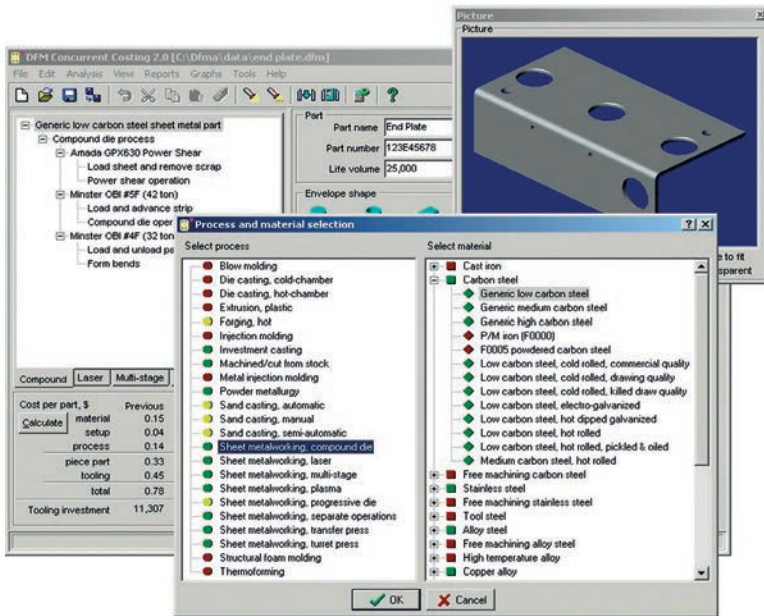


Рис. 3. Boothroyd Dewhurst DFM Concurrent Costing 2.0

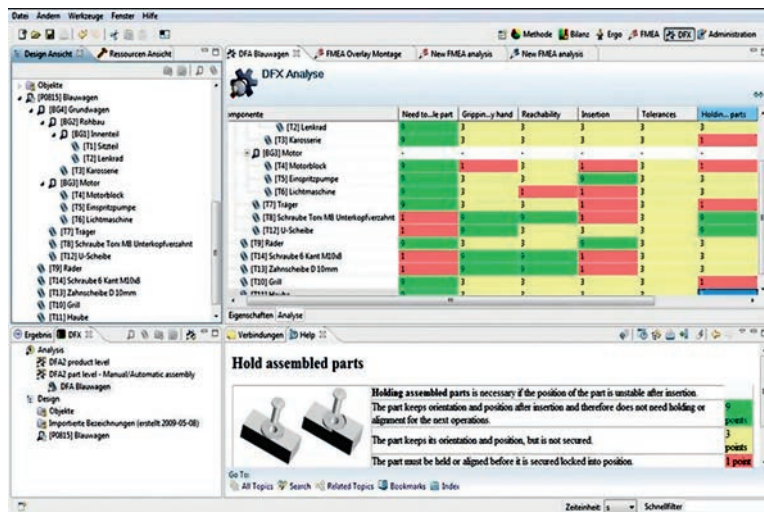


Рис. 4. Программный продукт Avix DFX

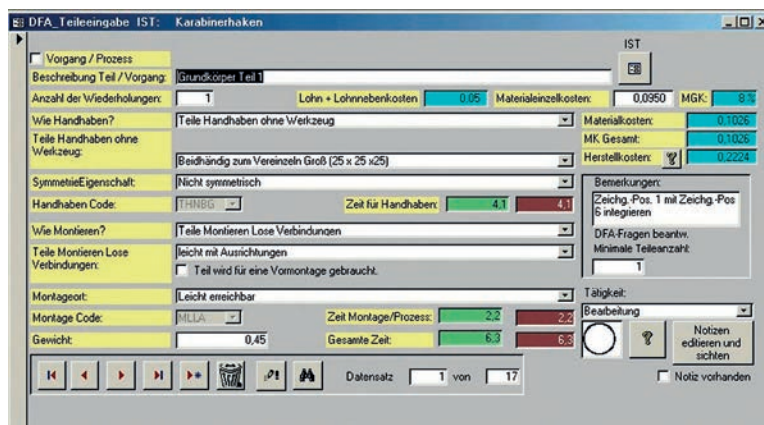


Рис. 5. Окно добавления детали в DfMAS 2000

Например, при фрезеровании корпусных деталей выполнить сопряжения стенок строго под прямым углом затруднительно. Система обнаруживает данную особенность и выводит диагностическое сообщение (рис. 7).

При гибке листового материала отверстия не должны располагаться слишком близко к месту изгиба (рис. 8).

ОЦЕНКИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИ СЛОЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ЭТАПЕ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Оценка технологичности технически сложных изделий требует разбивки изделия по уровням сборочного состава и категориям сложности. Применительно к автомобильной технике принято выделять три уровня сборочного состава [1].

Признаки категорий предметов производства определяются экспертами – руководителями и специалистами конструкторских и технологических служб.

На этапе разработки рабочей конструкторской документации может быть использован целый ряд методов определения трудоемкости изделия, а именно [3]:

- метод учета масс;
- метод удельного нормирования;
- метод учета сложности;
- метод моделирования составных частей;
- метод моделирования трудоемкости на основе корреляционного и регрессионного анализа.

Рассмотрим применение метода учета сложности. Основой обеспечения технологичности конструкции является структурный анализ изделия как системы предметов производства. При анализе изделие делят по нескольким иерархическим уровням: общая сборка – 1-й уровень; узловая сборка – 2-й уровень; производство деталей – 3-й уровень.

Для предметов первой категории рекомендуется непрерывная отработка конструкторской документации на технологичность на всех этапах. Для предметов второй категории – на всех этапах, кроме технического задания и технического предложения. Для третьей категории изделий отработка конструкторской документации на технологичность на этапах рабочей документации, коррек-

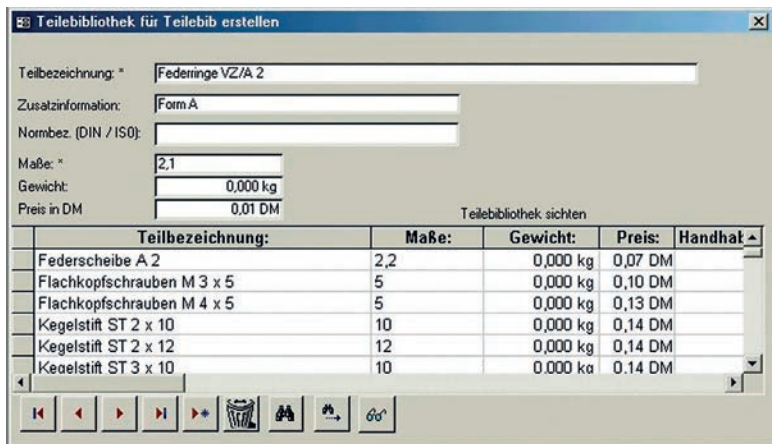


Рис. 6. Окно библиотеки деталей в DfMAS 2000

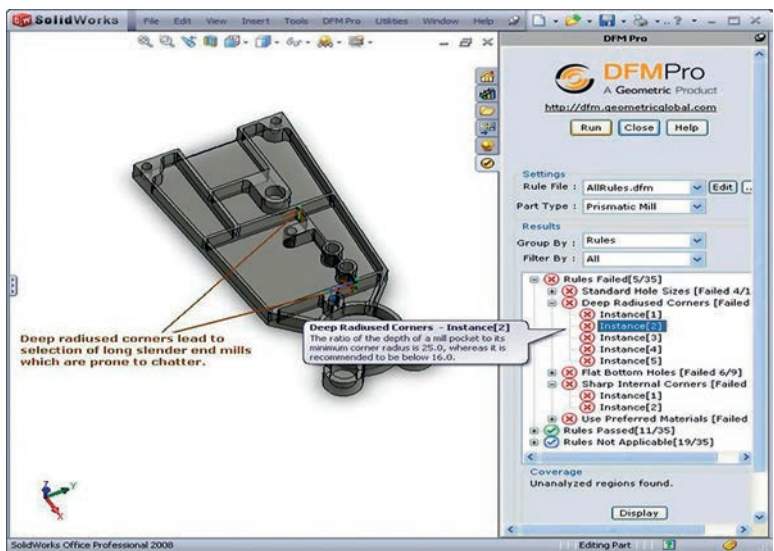


Рис. 7. Обнаружение острых углов

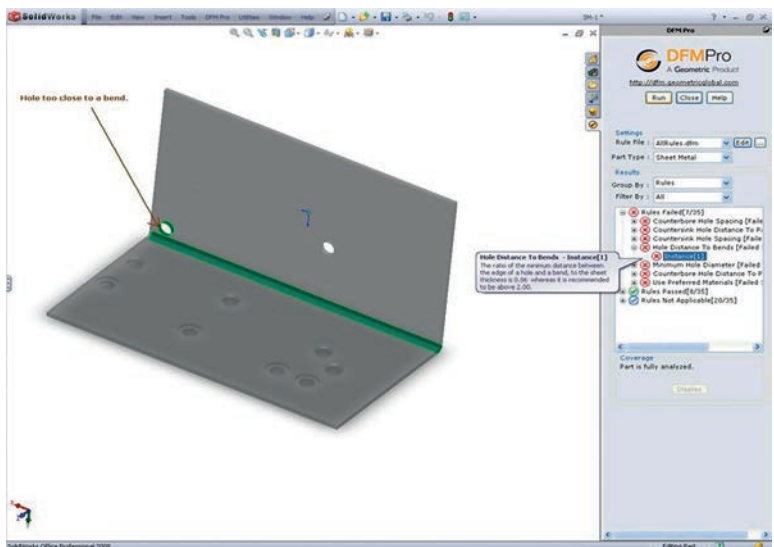
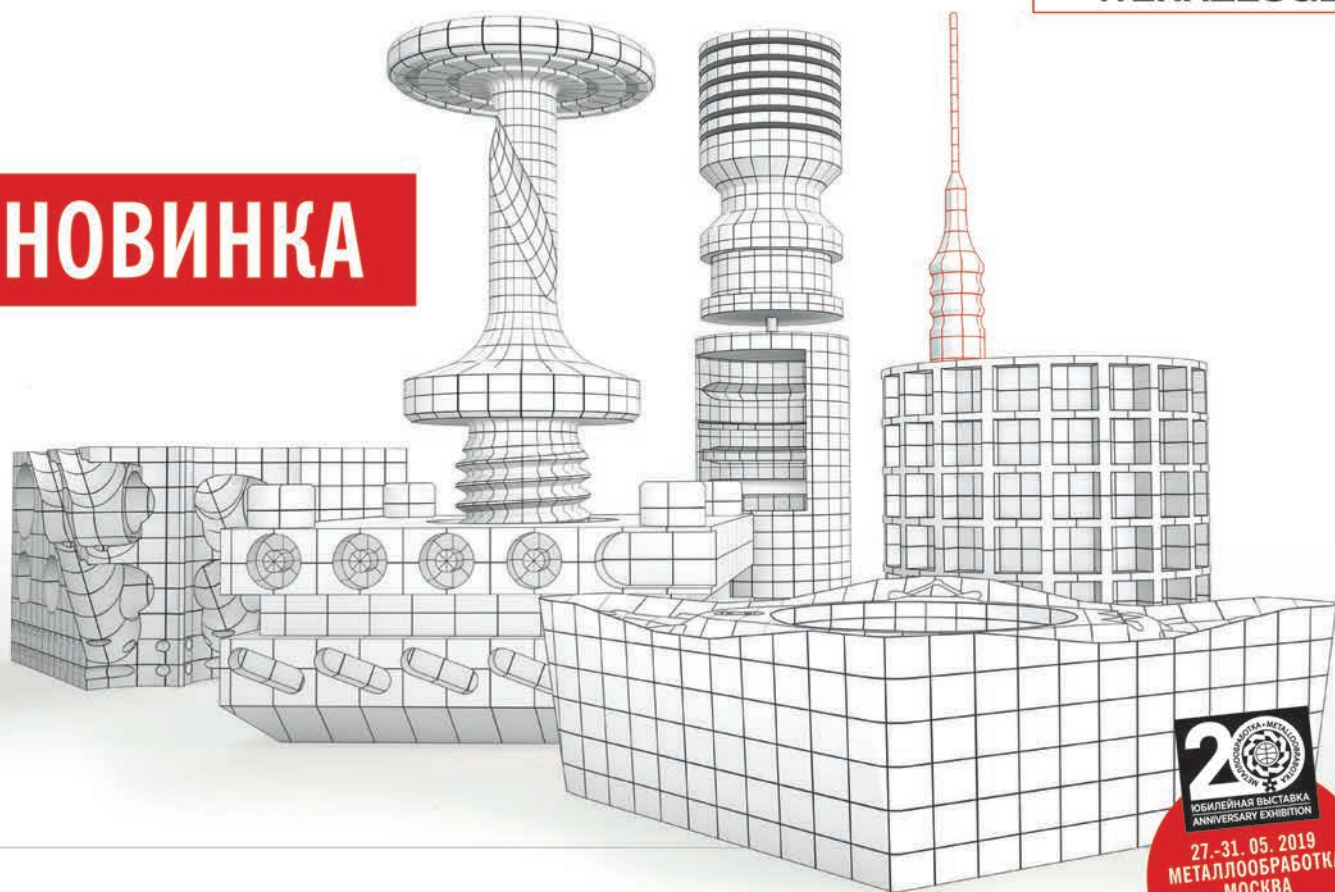


Рис. 8. Обнаружение отверстий, близких к изгибу

НОВИНКА

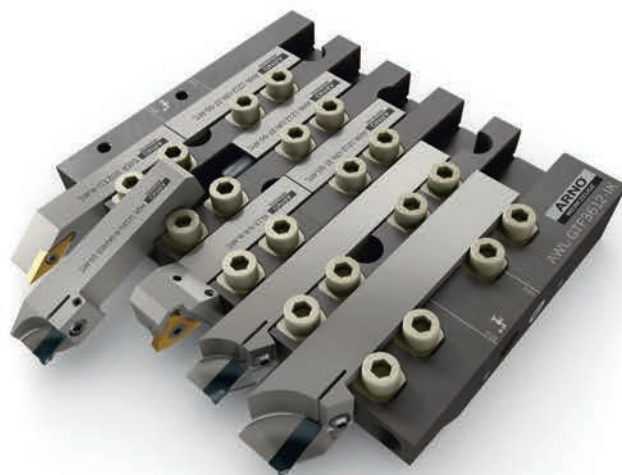


20
ЮБИЛЕЙНАЯ ВЫСТАВКА
ANNIVERSARY EXHIBITION
27.-31. 05. 2019
МЕТАЛЛООБРАБОТКА
МОСКВА
Павильон №7,
Стенд 76В10

Инновации в области продольного точения

НЕЗАУРЯДНЫЙ

Революционное решение для быстрой смены инструмента при продольном точении: двухкомпонентная несущая оснастка AFC, с помощью которой даже самый неопытный персонал сможет с легкостью менять инструменты — включая высокую точность смены. Продольное точение становится еще проще благодаря новой линейной каретке AWL с интегрированным подводом СОЖ — навесные шланговые конструкции уходят в прошлое.



ARNO DIGITAL // всю информацию о системе AFC и линейной каретке AWL вы найдете на сайте: langdrehen.arno.de

тировки по испытаниям, изготовления и в действующем производстве ведется периодически. Также для третьей категории ведется неполная отработка по этапам – по трем уровням детализации.

Критерием оптимизации может служить средняя величина категории конструкции:

$$\bar{K} = \frac{\sum m_i K_i}{\sum m_i}$$

где m_i – количество предметов производства (сборочных единиц и деталей), отнесенных экспертами к i -ой категории; K_i – номер категории производства изделия и его составных частей.

Суммарная категория сложности может быть оценена соотношением вида:

$$K_{\Sigma} = \frac{K_1 + K_2 + K_3}{3}$$

где K_1, K_2, K_3 – категории сложности для трех уровней изделия.

В качестве коэффициента сложности использовано соотношение между величинами категории сложности проектируемой и базовой конструкций:

$$K_{сл} = \frac{K_{\Sigma}^и}{K_{\Sigma}^а}$$

где $K_{\Sigma}^и, K_{\Sigma}^а$ – категории сложности для проектируемого изделия и изделия-аналога соответственно.

При этом возможно сопоставление различных вариантов конструктивного исполнения изделий. Расчет количественных показателей должен осуществляться на основе учета определяющих групп факторов: конструкторских, технологических и производственных.

С учетом того, что трудоемкость изготовления изделия существенно зависит от типа производства и предполагаемой программы выпуска, искомая трудоемкость нового изделия должна быть определена соотношением вида:

$$T_{и} = T_{а} \times \frac{K_{\Sigma}^и}{K_{\Sigma}^а} \times K_N \times K_B \times K_C$$

где K_N – коэффициент приведения по программе выпуска; K_B – коэффициент приведения по весу; K_C – коэффициент снижения трудоемкости (в соответствии с техническим заданием).

Общий алгоритм расчета производственной технологичности приведен на рис. 9.

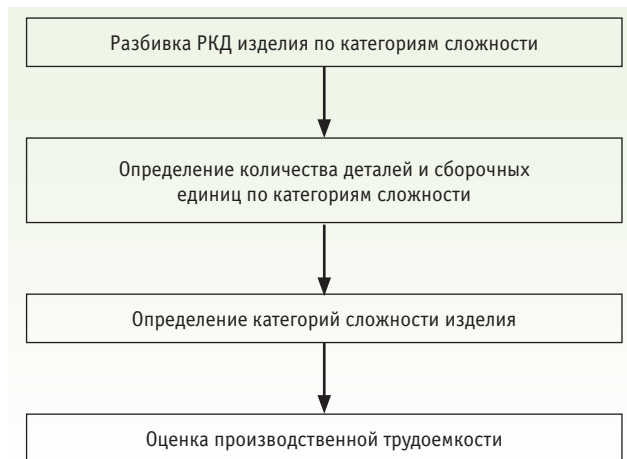


Рис. 9. Последовательность этапов расчета

С целью сокращения трудоемкости выполнения изложенных процедур и сокращения затрат времени, была разработана программа для персонального компьютера.

Программа написана на языке программирования С++, в качестве графической библиотеки используется пакет Qt. Главное окно программы показано на рис. 10, а алгоритм работы представлен в виде блок-схемы на рис. 11.

Разработанная программа [12] позволяет проводить оценку трудоемкости изготовления крупногабаритных изделий на этапе конструкторско-технологической подготовки производства и сокращает

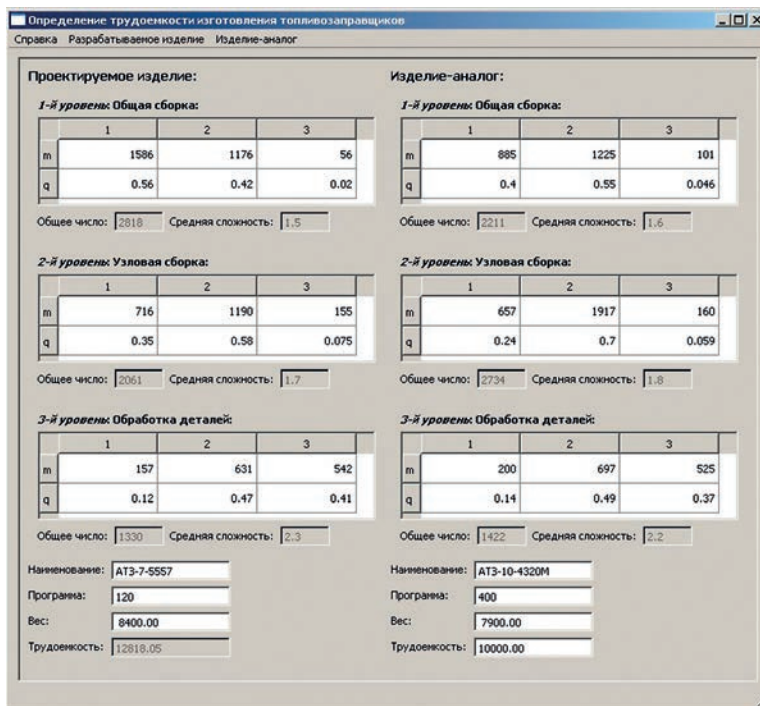


Рис. 10. Рабочее окно программы

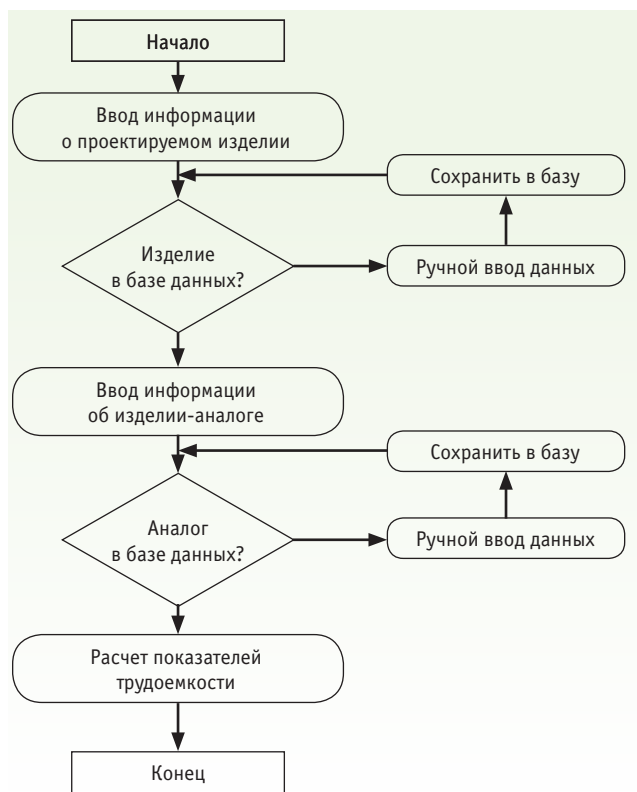


Рис. 11. Блок-схема программы

трудоемкость проектных работ. Программа позволяет выполнить сопоставление конструктивных решений при отработке изделия на технологичность.

Таким образом, применение данной методики помогает определить предполагаемую трудоемкость изготовления изделия на этапе подготовки производства. В этот период еще отсутствует необходимая технологическая документация на изготовление. Определение трудоемкости в производстве непосредственно связано со стоимостью изготовления, что позволит контролировать производственные расходы. Однако следует отметить, что изготовление опытного образца, как правило, характеризуется несколько большей трудоемкостью, так как подготовка к серийному производству еще не проведена.

Данная методика и ее программная реализация могут быть успешно применены при оценке технологичности промышленного оборудования и технологической оснастки.

С использованием рассмотренной методики проведено обеспечение технологичности защитного приспособления (специальной технологической оснастки) (рис. 12а). Данное приспособление используется для защиты поверхностей при нанесении покрытия карбида хрома детонационным способом.

Изделие состоит из двух основных деталей. В самых тонких сечениях толщина металла состав-

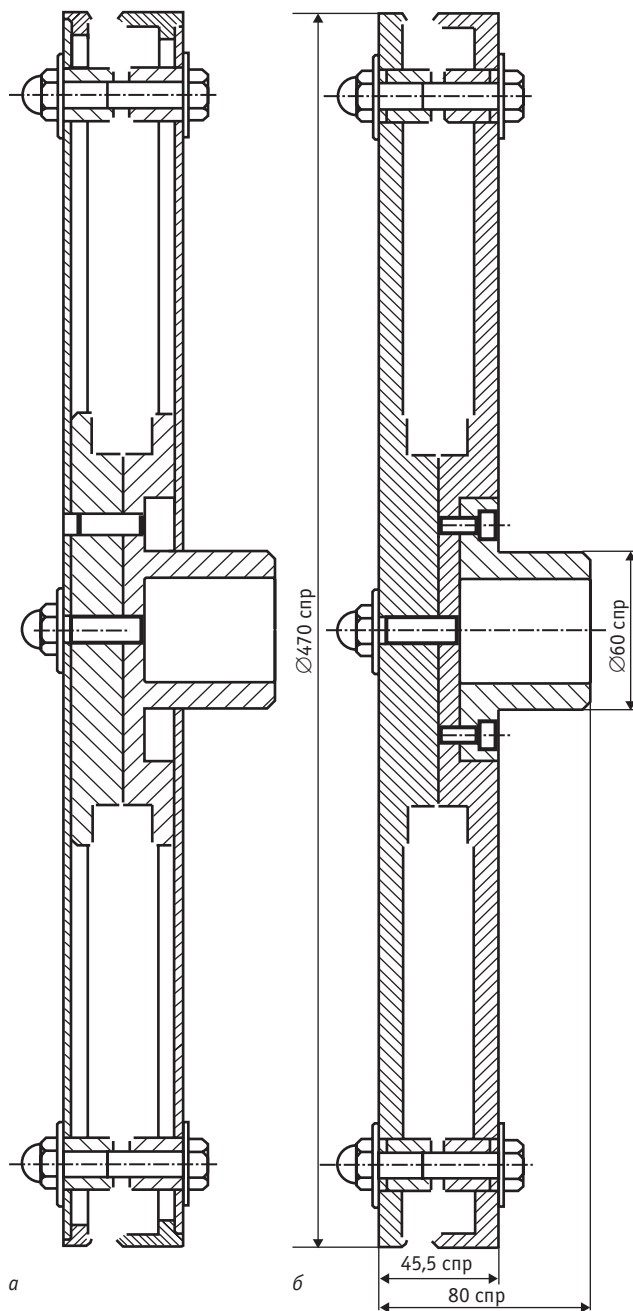


Рис. 12. Защитное приспособление: а – базовая конструкция; б – усовершенствованная конструкция приспособления

ляет 3 мм. При первоначальном проектировании оснастки была заложена низкоуглеродистая конструкционная сталь 3 и отсутствие термической обработки деталей. Однако из-за больших габаритных размеров по диаметру (внешний диаметр $\varnothing 470$) и малой толщине детали очень сложно провести ее механообработку и сварку. Для исключения погрешностей обработки и коробления при сварке было принято решение о реконструировании.

Основная задача состояла в том, чтобы избавиться от большого количества сварных узлов, так как основной проблемой было устранение коробления при сварке. Также, вследствие того, что производство относится к единичному, способы получения заготовок ограничены, а именно:ковка, литье, отрезка из листа. Коэффициент использования материала очень низок, так как для обработки тонкостенных колец, дисков обычно используется большой технологический припуск. Для решения этих проблем было проведено усовершенствование изделия путем объединения нескольких деталей в одну конструкцию. Измененная конструкция приспособления показана на рис. 12б.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на существование хорошо зарекомендовавших себя методик оценки технологичности конструкции изделия, задача формирования изделий, отвечающих требованиям бережливого производства, остается нерешенной.

Представляется возможным дальнейшее развитие идей формирования технологичных изделий в направлении интеграции с системами автоматизированного проектирования. В качестве аппарата, реализующего данный подход, целесообразно рассмотреть производственные системы (системы, основанные на правилах) с осуществлением прямого и обратного логического вывода. Для получения необходимой технологической информации и для принятия решений в условиях неопределенности в настоящее время существует ряд хорошо проработанных математических методов, к которым можно отнести генетические и нейросетевые алгоритмы, нечеткую логику и нечеткий логический вывод в экспертных системах.

Реализация методов направленного формирования технологичных конструкций, будучи интегрирована с САПР, позволит в перспективе осуществить более тесную взаимосвязь между технологом, предоставляющим правила и эвристики для базы знаний системы, и конструктором, применяющим системы. Это позволит вести проектирование изделий, приспособленных к условиям конкретного производства, начиная с самых ранних этапов проектирования, что в итоге приведет к сокращению затрат времени на технологическую подготовку производства и издержек производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Вартанов М.В.** Обеспечение технологичности конструкций изделий при их многоуровневом пре-

образовании в структуру изделий автоматизированной сборки: Дис. д.т.н. — М.: МГТУ «МАМИ», 2005.

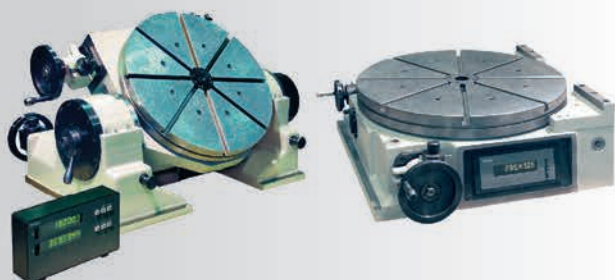
2. **Мешков Р.Б.** Сокращение длительности подготовки производства деталей при совмещенном конструкторско-технологическом проектировании: Дис. к.т.н. — М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. 198 с.
3. Технологичность конструкции изделия. Справочник / Под ред. Ю.Д. Амирова и др. — М., 1990. 768 с.
4. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х томах. Т 1. / Под ред. А.С. Васильева, А.А. Кутина; 6-е изд., перераб. и доп. — М.: Инновационное машиностроение, 2018. 756 с.: ил.
5. **Холодкова А.Г., Кристаль М.Г.** Технология автоматической сборки (учебник для студентов ВУЗов). — М.: Машиностроение, 2010. 560 с.
6. **Базров Б.М., Троицкий А.А.** Анализ коэффициентов технологичности конструктивного исполнения изделия // Научные технологии в машиностроении. 2018. № 7. С. 23–26.
7. **Базров Б.М.** Технологичность конструкции изделия и ее оценка // Вестник машиностроения. 2018. № 6. С. 47–50.
8. www.dfma.com
9. Product Design for Manufacture and Assembly / Geoffrey Boothroyd, Peter Dewhurst, Winston Knight. — New York: Marcel Dekker, 1994. 540 p.
10. **Артемов И.И., Зверовщиков А.Е., Нестеров С.А.** Стратегия оценки технологичности высокотехнологичных наукоемких машиностроительных производств // Вестник РГАТУ имени П.А. Соловьева. 2017. №1(40). С. 286–289.
11. **Вартанов М.В., Осипов А.С.** Автоматизация расчета производственной технологичности крупногабаритных изделий // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2012. № 9. С. 3–6.
12. **Вартанов М.В., Осипов А.С.** Программа расчета производственной технологичности крупногабаритных изделий. Свидетельство о регистрации электронного ресурса № 22185 от 13.10.2016.

ВАРТАНОВ Михаил Владимирович —
доктор технических наук, профессор
Московского политехнического
университета

ЧУШЕНКОВ Илья Иванович —
магистрант Московского политехнического универ-
ситета

НАКЛАДНЫЕ ПОВОРОТНЫЕ СТОЛЫ

особо высокой точности. Универсальные, кантуемые и простые. Диаметр планшайбы от 260 мм до 1000 мм, с цифровой индикацией и с управлением от УЧПУ



ПОЛУАВТОМАТЫ ОТДЕЛОЧНО-РАСТОЧНЫЕ

специальные высокой точности одно- и двухсторонние для финишного точения, растачивания, подрезки торцов, врезки канавок в корпусных и симметричных деталях



ПРИВОДНЫЕ И ЭЛЕКТРОШПИНДЕЛИ ВЫСОКОЙ ТОЧНОСТИ

Широкая гамма типоразмеров для отечественного и импортного металлообрабатывающего оборудования



КАПИТАЛЬНЫЙ РЕМОНТ И ГЛУБОКАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ

координатно-расточных станков и накладных поворотных столов



СКР-400, СКР-400М

Станки координатно-расточные многоцелевые особо высокой точности с УЧПУ. Размер стола 800 x 400 мм



АЭРОШЛИФ-400

Станки координатно-шлифовальные особо высокой точности с УЧПУ. 8 управляемых координат. Размер стола 800 x 400 мм

ТОЧНОСТЬ – ПУТЬ, КОТОРЫЙ МЫ ВЫБРАЛИ

443022, г. Самара, ул. XXII Партсъезда, 7а
Тел. (846) 955-30-83, тел./факс (846) 992-69-84

e-mail: stan@samara.ru
www.stan-samara.ru