

Рис. 3. Фрагменты дифрактограмм покрытия $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{B}$: а – внешняя поверхность отслоившегося покрытия; б – внутренние слои покрытия, примыкающие к стали; в – на поверхности стали

в основном, гексагональной α -модификации оксида алюминия. Поскольку на температуру и скорость полиморфных превращений оксида алюминия значительное влияние оказывают примесное соединения, то можно предположить, что присутствие бора снижает температуру перехода $\gamma \rightarrow \alpha$ и резко увеличивает скорость образования α -фазы. Бор присутствует как в порошке, так и в покрытии в чистом виде. На дифрактограмме легированного порошка выявлены линии бора, соединений бора не обнаружено.

Были исследованы также внешняя и внутренняя сторона покрытия. Соответствующие рентгенограммы покрытий из чистого оксида алюминия и легированного бором представлены на рисунках 2, 3.

При плазменном напылении в покрытии формируется как $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, так и $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ – низкотемпературная фаза. Причем, первые слои на поверхности напыления, когда скорость охлаждения их наибольшая, формируются преимущественно из $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. В дальнейшем формируется и высокотемпературная модификация $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. Однако в покрытиях из легированных керамических материалов доля высокотемпературной фазы значительно выше, по сравнению с покрытием из чистого оксида алюминия, не прошедшего диффузионную обработку.

Эксплуатационные характеристики оксидного покрытия Al_2O_3 связаны с фазовым составом. Увеличение содержания $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ значительно повышает износостойкость покрытия. Это позволяет сделать вывод о том, что диффузионное легирование оксида алюминия способствует повышению триботехнических характеристик покрытий.

При анализе дифрактограмм внешней и внутренней стороны покрытия были обнаружены линии $\alpha\text{-Fe}$ на внутренней его части (рис. 2,б и 3,б). Наличие данных линий объясняется диффузией железа из стальной подложки в покрытие. Причем, если сравнить интенсивности дифракционных линий $\alpha\text{-Fe}$, то у легированного бором покрытия интенсивность в 3 раза выше (540 имп. и 1683 имп.). Кроме того, на внутренней части покрытия $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{B}$ обнаружен борид железа, полученный в результате химического взаимодействия бора, содержащегося в покрытии, со стальной подложкой. Это подтверждает тот факт, что присутствие бора способствует более прочной химической связи керамического покрытия с основанием.

Заключение. Поскольку свойства покрытий в значительной мере закладываются технологией получения порошка для напыления, то применение диффузионно-легированного бором оксида алюминия обуславливает получение более износостойкого керамического покрытия с равномерной структурой и повышенной адгезией с основой.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бодяко, М.Н. Газотермическая обработка керамических оксидов / Ф.Б. Вурзель, Е.В. Кремко [и др.]: под ред. О.В. Романа. – Мн.: Наука и техника, 1988. – 223 с.
2. Борисов, Ю.С. Газотермические покрытия из порошковых материалов. Справочник / Ю.А. Харламов, С.А. Сидоренко, Е.Н. Ардатовская – Киев: Наукова думка, 1987. – 544 с.
3. Самсонов, Г.В. Тугоплавкие покрытия / Т.В. Самсонов, А.П. Элик – М.: Металлургия, 1973. – 400 с.

Материал поступил в редакцию 01.07.09

DEVOINO O.G., KARDAPOLOVA M.A., KOMAROV A.I., YACKEVICH O.K. Formation of ceramic coverings and diffusion influence oxide of aluminum

The diffusive alloying is the effective mechanism of influence on phase composition and structure of powder for a plasma-flame ceramic coating. Tins research work deals with a alumina powders alloyed by boron. Use of such powders allows to obtain ceramic coating with excellent performances.

УДК 620.22:62-412(058)

Медведев О.А., Шипуль В.Н.

СПОСОБ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНЫХ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Состояние вопроса, цели и задачи исследования. Рациональный выбор заготовки является одной из важнейших задач, решаемых на начальном этапе технологической подготовки производства деталей машин. От правильности этого выбора в значительной мере зависит эффективность изготовления деталей. Обычно на производстве выбор заготовок производится путем сравнения расчетных стоимостей нескольких технически приемлемых заготовок, а часто и без выполне-

ния расчетных обоснований на основе опыта технолога или по рекомендациям справочной литературы. Однако такой выбор нельзя признать объективным, так как при этом не учитывается влияние вида и формы заготовки на себестоимость последующей обработки.

В ряде случаев обоснованный выбор заготовки можно сделать без расчета себестоимости детали, путем сравнения вариантов

Медведев Олег Анатольевич, к.т.н., доцент кафедры технологии машиностроения Брестского государственного технического университета.

Шипуль Виктор Николаевич, магистрант кафедры технологии машиностроения Брестского государственного технического университета. Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

заготовок по их стоимости (C_3) и коэффициенту использования материала ($K_{ИМ}$). Этот коэффициент может служить качественной мерой себестоимости обработки заготовки (C_0). Обычно, чем больше $K_{ИМ}$, тем ниже себестоимость ее обработки (в основном черновой, так как стоимость чистовой обработки практически не зависит от вида заготовки и способа ее получения). При таком допущении первый вариант заготовки (из двух сравниваемых) будет обеспечивать минимум стоимости детали, если соблюдается одно из условий: $C_{31}=C_{32}$ и $K_{ИМ1}>K_{ИМ2}$; $C_{31}<C_{32}$ и $K_{ИМ1}=K_{ИМ2}$; $C_{31}<C_{32}$ и $K_{ИМ1}>K_{ИМ2}$. Однако в случае, когда $C_{31}>C_{32}$ и $K_{ИМ1}>K_{ИМ2}$, обоснованный выбор по этим параметрам сделать нельзя. В этом случае приходится для альтернативных вариантов составлять типовые процессы изготовления (как собственно исходной заготовки, так и детали), далее выполнять экономическое сравнение вариантов, по результатам которого принимать окончательное решение. Это весьма трудоемко и затратно по времени. Кроме того, обратная пропорциональность между $K_{ИМ}$ и C_0 не всегда соответствует действительности, например, для деталей, имеющих много мелких конструктивных элементов (отверстий, пазов, выточек и т.п.).

Как правило, применение простой по форме и дешевой заготовки приводит к увеличению затрат на последующую обработку (в основном черновую механическую обработку). Приближение заготовки к детали по форме и размерам, за счет применения более сложного и дорогого метода ее получения, снижает затраты на последующую обработку. Поэтому, лучшим следует считать один из технически приемлемых вариантов заготовки, для которого себестоимость детали (C_{Σ}), равная сумме стоимости заготовки и затрат на последующую обработку, минимальна:

$$C_{\Sigma} = (C_3 + C_0) \rightarrow \min. \quad (1)$$

Существующие методики расчета стоимости заготовок разных видов на основе известных масс детали, заготовки и данных прейскурантов (цены за единицу массы заготовок и стружки) позволяют просто и с достаточной для практики точностью рассчитать первое слагаемое себестоимости детали. Однако для определения второго слагаемого требуется предварительная разработка и нормирование технологий механической обработки для каждого варианта заготовки, что трудоемко.

Поэтому необходимо разработать методику, которая могла бы позволить достаточно быстро и объективно оценить влияние вида и способа получения заготовки на себестоимость изготовления детали.

Определение критерия выбора варианта заготовки. Принимая допущение о том, что затраты на чистовую и отделочную обработку практически не зависят от вида заготовки и способа ее получения, достаточно обоснованным и менее трудоемким можно считать способ выбора заготовки по критерию минимума себестоимости полуфабриката, получаемого после черновой обработки. Для реализации такого выбора необходимо разработать малотрудоемкую методику расчета прогнозируемой себестоимости черновой механической обработки, в зависимости от $K_{ИМ}$ заготовки, или объема удаляемых черновых припусков и напусков, что позволит исключить предварительное подробное проектирование технологии механической обработки.

В основу предлагаемой методики положены разработанные авторами выражения для определения объема припуска или напуска, снимаемого точением, сверлением, зенкерованием, растачиванием, фрезерованием, за одну минуту основного времени механической обработки. Этот объем является производением глубины резания, оборотной подачи и скорости резания.

$$w_T = t \cdot S \cdot V \cdot 1000, \quad (2)$$

где t, S, V – режимы резания на рассматриваемой операции.

Для получения указанных выражений использовались эмпирические формулы, применяемые для расчета скорости резания при черновых методах механической обработки. Например, подставив в формулу (2) выражение для определения скорости резания при точении и растачивании [4] получим

$$w = t \cdot S \cdot \frac{C_V}{T^m t^x S^y} \cdot K_V \cdot 1000 = t^{(1-x)} \cdot S^{(1-y)} \cdot \frac{1000 \cdot C_V K_V}{T^m} = t^{(1-x)} \cdot S^{(1-y)} \cdot B_T, \quad (3)$$

$$\text{где } B_T = \frac{1000 \cdot C_V K_V}{T^m}.$$

Суммарное основное время черновой механической обработки предлагается определять делением объема черновых припусков и напусков на выражение для объема материала, снимаемого за одну минуту

$$t_{o,j} = \frac{V_{Пj}}{W_j}, \quad (4)$$

где $V_{Пj}$ – объем металла, приходящийся на черновые припуски и напуски для i -го варианта заготовки, мм³; W_j – объем металла, снимаемый за 1 минуту черновой мехобработки, мм³/мин.

Тогда величину штучно-калькуляционного времени можно считать следующим образом:

$$t_{шт.черн.j} = \Phi_K \cdot \frac{M_{3j} - M_D}{\rho \cdot W_j} = \Phi_K \cdot \frac{M_{3j}(1 - K_{ИМj})}{\rho \cdot W_j} = \Phi_K \cdot \frac{M_D(1 - K_{ИМj})}{\rho \cdot t_i^{(1-x)} \cdot S_i^{(1-y)} \cdot B_n \cdot K_{ИМj}}, \quad (5)$$

где Φ_{Kj} – коэффициент, зависящий от группы и типа оборудования, а также серийности производства [2], ρ – плотность материала детали, кг/мм³, M_{3j} – масса i -того варианта заготовки, M_D – масса детали, $K_{ИМj}$ – коэффициент использования материала i -того варианта заготовки.

Прогнозируемую стоимость черновой обработки можно определить как произведение приведенных затрат за единицу времени работы оборудования, используемого для черновой механической обработки $C_{пр.черн.j}$ [1], на штучно-калькуляционное время.

Себестоимость заготовок, получаемых большинством методов литья и обработки давлением, можно определить по формуле [3]:

$$C_3 = \frac{C_3}{1000} M_3 k_T k_B k_M k_{Сл} k_C - (M_3 - M_D) \frac{C_0}{1000}, \quad (6)$$

где C_3 – оптовая цена 1 т заготовок соответствующего вида, руб.; C_0 – цена реализуемых отходов, руб./т; k_M – коэффициент, учитывающий точность заготовок; k_B – коэффициент, учитывающий сложность заготовок; k_M – коэффициент, учитывающий марку материала заготовок; $k_{Сл}$ – коэффициент, учитывающий массу заготовки; k_C – коэффициент, учитывающий объем выпуска заготовок.

После выражения M_3 через $K_{ИМ}$ и введения обозначений

$$A = \frac{C_3}{1000} M_3 k_T k_B k_M k_{Сл} k_C; \quad B = \frac{C_0}{1000} \quad (7)$$

получим формулу для расчета стоимости получения заготовки

$$C_{3j} = A_j M_{3j} - (M_{3j} - M_D) B_j = M_{3j} \left[A_j - (1 - K_{ИМj}) B_j \right] = M_D \left[\frac{A_j}{K_{ИМj}} - \left(\frac{1}{K_{ИМj}} - 1 \right) B_j \right]. \quad (8)$$

Тогда себестоимость полуфабриката после черновой мехобработки $C_{\Sigma\text{пф}}$ для случая, когда основные припуски и напуски удаляются точением и растачиванием

$$C_{\Sigma\text{пф.точ.}} = C_3 + C_{0\text{черн.точ.}} = M_D \left[\frac{A}{K_{ИМ}} - \left(\frac{1}{K_{ИМ}} - 1 \right) B \right] + \frac{M_D \cdot C_{пр.черн.} \cdot \Phi_K \cdot (1 - K_{ИМ})}{\rho \cdot t^{(1-x)} \cdot S^{(1-y)} \cdot B_T \cdot K_{ИМ}}. \quad (9)$$

Для случая, когда основные припуски и напуски будут удаляться фрезерованием, величину W можно определить по формуле:

$$w = B \cdot t \cdot S_M = B \cdot t \cdot S_Z \cdot z \cdot n = B \cdot t \cdot S_Z \cdot z \cdot \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D}, \quad (10)$$

где B – ширина фрезерования, мм; t – глубина фрезерования, мм; S_M – минутная подача фрезы, мм/мин; S_Z – подача на один зуб фрезы, мм; z – число зубьев фрезы; v – окружная скорость фрезы, м/мин; D – диаметр фрезы, мм.

После подстановки выражения для скорости резания [4] получим

$$w = B \cdot t \cdot S_Z \cdot z \cdot \frac{1000 \cdot C_V \cdot D^q}{\pi \cdot D \cdot T^m t^x S_Z^y \cdot B^u \cdot z^p} K_V = t^{(1-x)} \cdot S_Z^{(1-y)} \cdot B_\phi, \quad (11)$$

где $B_\phi = \frac{1000 \cdot C_V \cdot D^q \cdot K_V \cdot z^{(1-p)}}{T^m \cdot B^{(u-1)}}$.

Таким образом, величину критерия $C_{\Sigma \text{пф}}$ для случая, когда черновым методом обработки заготовки будет являться фрезерование, можно рассчитать по формуле:

$$C_{\Sigma \text{пф. фрез.}} = C_3 + C_{\text{О.черн. фрез.}} = M_D \left[\frac{A}{K_{\text{ИМ}}} - \left(\frac{1}{K_{\text{ИМ}}} - 1 \right) B \right] + \frac{M_D \cdot C_{\text{пр.черн.}} \cdot \Phi_K \cdot (1 - K_{\text{ИМ}})}{\rho \cdot t^{(1-x)} \cdot S^{(1-y)} \cdot B_\phi \cdot K_{\text{ИМ}}}. \quad (12)$$

Для случая, когда основные припуски и напуски будут удаляться сверлением, рассверливанием или зенкерованием, величину W можно определить по формуле:

$$w = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot S_M = \frac{\pi \cdot (D - d) \cdot (D + d)}{4} \cdot S \cdot n = \frac{\pi \cdot 2 \cdot t \cdot (D + d)}{4} \cdot S \cdot \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{\pi \cdot 2 \cdot t \cdot (2D - 2t)}{4} \cdot S \cdot \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot v \cdot t \cdot (D - t) \cdot S}{D}, \quad (13)$$

где D – диаметр сверла (зенкера), мм; d – диаметр отверстия под рассверливание или зенкерование, мм; S_M – минутная подача сверла (зенкера), мм/мин; t – глубина сверления (рассверливания, зенкерования), мм; v – окружная скорость сверла (зенкера), м/мин; S – оборотная подача сверла (зенкера), мм/об.

Подставим значение скорости резания в выражение для w :

$$w = \frac{1000 \cdot C_V \cdot D^q \cdot K_V \cdot t \cdot (D - t) \cdot S}{T^m t^x S^y \cdot D} = 1000 \cdot C_V \cdot D^{(q-1)} \cdot K_V \cdot t^{(1-x)} \cdot (D - t) \cdot S^{(1-y)} \cdot T^{(1-m)} = t^{(1-x)} \cdot S^{(1-y)} \cdot D^{(q-1)} (D - t) \cdot B_C, \quad (14)$$

где $B_C = 1000 \cdot C_V \cdot K_V \cdot T^{(1-m)}$.

Таким образом, величину критерия $C_{\Sigma \text{пф}}$ для случая, когда черновым методом обработки заготовки будет являться сверление, рассверливание или зенкерование, можно рассчитать по формуле:

$$C_{\Sigma \text{пф. св.}} = M_D \left[\frac{A}{K_{\text{ИМ}}} - \left(\frac{1}{K_{\text{ИМ}}} - 1 \right) B \right] + \frac{M_D C_{\text{пр.черн.}} \cdot \Phi_K \cdot (1 - K_{\text{ИМ}})}{\rho t^{(1-x)} S^{(1-y)} D^{(q-1)} (D - t) B_C K_{\text{ИМ}}}. \quad (15)$$

Программное обеспечение для расчета критериев выбора заготовок. На основе выведенных зависимостей для расчета стоимости полуфабриката, получаемого после черновой обработки заготовки, была разработана компьютерная программа, позволяющая значительно упростить и ускорить процесс использования разработанной методики на практике. Последовательность решения задачи выбора рациональной заготовки с использованием формальных процедур и эвристик, объединена в единый алгоритм. В качестве исходных данных вводятся: масса детали, материал детали, программа выпуска,

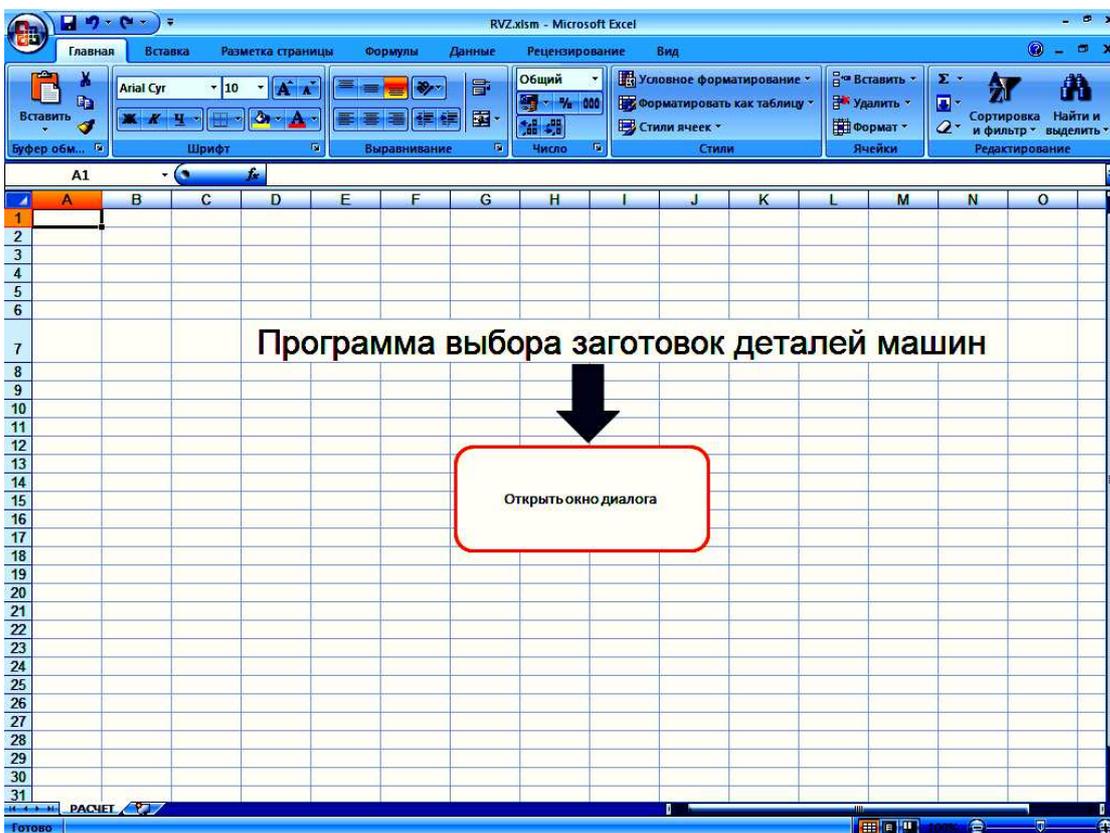


Рис. 1. Главная страница программы выбора заготовок деталей

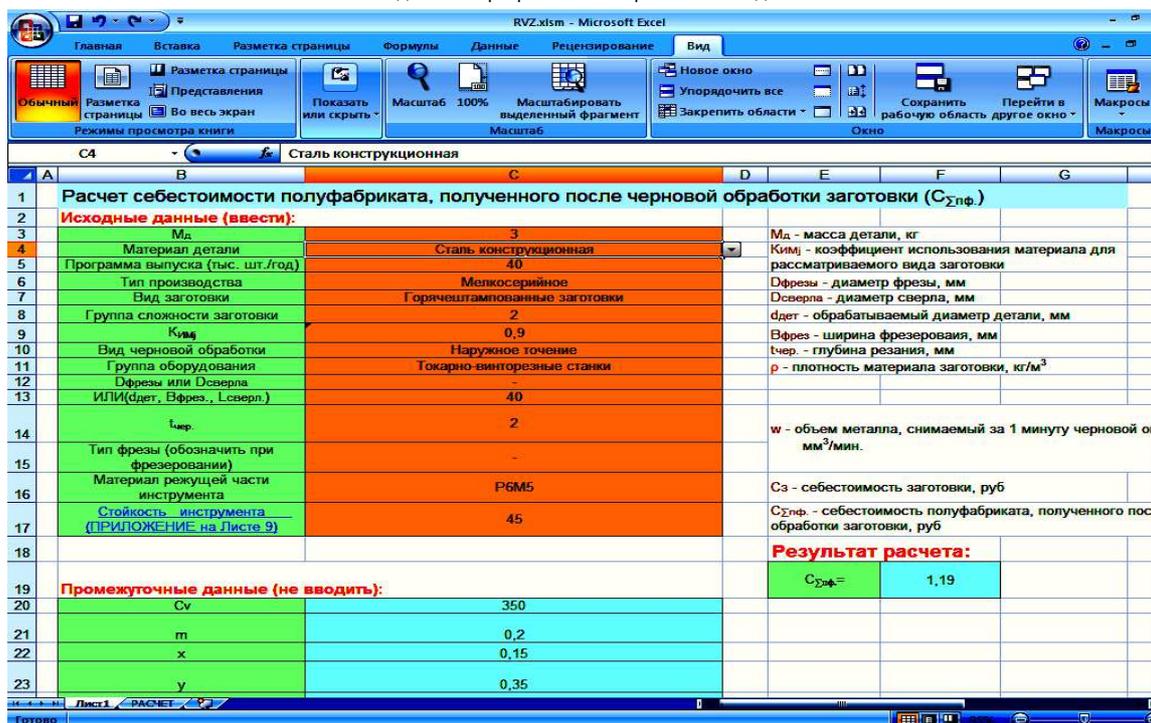
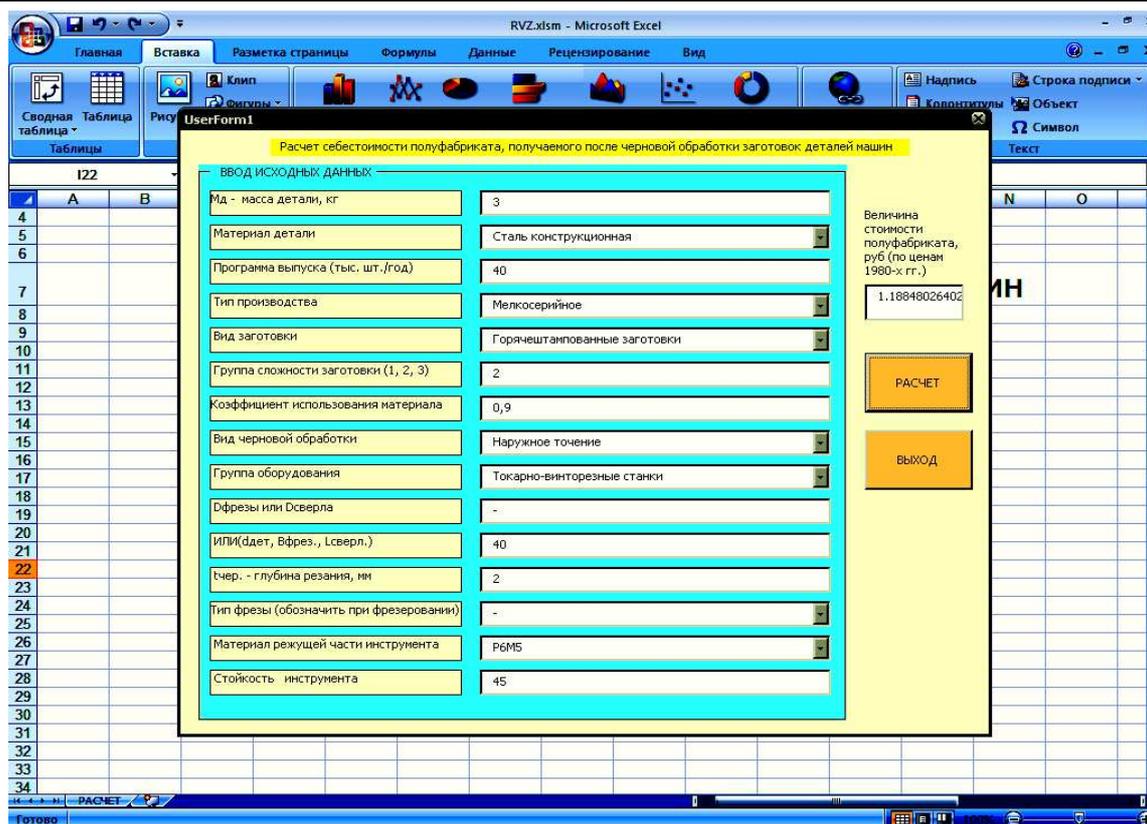


Рис. 3. Рабочий Лист 1

анализируемый вид заготовки, коэффициент использования материала, вид черновой обработки, группа оборудования, на котором будет производиться черновая обработка заготовки, максимально возможная глубина резания (черновой припуск), материал режущей части инструмента, стойкость инструмента. Программа имеет пять баз данных, каждая из которых оформлена на отдельном листе рабочей книги Excel и относится к определенному виду обработки: точение, растачивание, фрезерование, сверление, зенкерование.

Непосредственно программа представляет собой рабочую книгу Microsoft Excel, хранящуюся в файле RVZ.xlsm. Ее внешний вид представлен на рис. 1.

При активации рабочей книги RVZ.xlsm пользователь видит главную страницу программы, где имеется одна кнопка – «Открыть окно диалога». После нажатия кнопки на экране появится окно диалога, разработанное на основе возможностей VBA (рис. 2).

Рабочие листы баз данных скрыты от пользователя.

На рабочем листе с именем "Лист 1" (рис. 3) имеется три области: таблица ввода исходных данных, таблица вывода промежуточных данных и область вывода конечного результата. Лист 1 выполняет синхронизирующую функцию, то есть обеспечивает исходной информацией остальные рабочие листы и выводит с них результаты поиска и расчетов. На остальных рабочих листах расположены базы данных с технологической справочной информацией, которая необходима для расчета величины скорости снятия черновых припусков и напусков. С этих листов производится вывод промежуточной информации на Лист 1, при этом номер листа, с которого будет считываться информация, зависит от вида черновой обработки заготовки: Лист 2 – наружное точение; Лист 3 – растачивание; Лист 4 – фрезерование; Лист 5 – сверление; Лист 6 – зенкерование.

Разработанная программа, позволяет достаточно оперативно и корректно осуществлять выбор возможных вариантов исходных заготовок машиностроительных деталей. Интерактивное меню программы имеет диалоговое оформление, что удобно для понимания и использования.

Заключение. Разработанная методика позволяет выполнять обоснованный выбор заготовок на ранней стадии проектирования техпроцессов механической обработки деталей, повысить объектив-

ность принимаемых технологических решений и тем самым сократить затраты на технологическую подготовку производства. Кроме того, для облегчения использования данной методики на практике, разработана компьютерная программа на базе MS Excel, которая обеспечивает автоматический выбор нормативных и справочных данных, а также вывод конечного результата. Методика может быть полезна инженерам-технологам, занимающимся проектированием техпроцессов изготовления деталей машин.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гамрат-Курек, Л.И. Экономика инженерных решений в машиностроении. – М: Машиностроение, 1986. – 255 с.
2. Бабук, В.В. Проектирование технологических процессов механической обработки в машиностроении: учеб. пособ. под ред. В.В. Бабука / В.А. Шкред, А.И. Медведев – Мн.: Выш. шк., 1987. – 255с.: ил.
3. Проектирование технологических процессов в машиностроении / И.П. Филонов, Г.Я. Беляев, Л.М. Кожуро [и др.]. – Мн: УП Технопринт, 2003. – 910 с.
4. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. – / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Суслова, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, – 5-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2001. – Т. 2. – 944 с.

Материал поступил в редакцию 17.09.09

MEDVEDEV O.A., SHIPUL V.N. The choosing of rational workpieces of machines details

The problem of choosing rational workpiece for mechanical engineering products at the early stage of designing of technological process is studied in this article. The description of the main principles of choosing suitable workpiece from alternative variants is also given here. The technique allowing with high reliability at the initial stage of designing of technological process to spend choosing rational workpiece is developed. The final part contains the conclusion based on the results of researches.

УДК 621.791

Стасенко Д.Л., Акулич А.П., Гринкевич И.В., Кульгейко Г.С.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОДАЧИ ПОРОШКА ПРИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАПЛАВКЕ

Введение. В условиях ограниченности сырьевой базы Республики Беларусь все большую актуальность приобретают ресурсосберегающие, восстанавливающие и ремонтные технологии. Нанесение износ-, коррозионно-стойких, теплоизоляционных и других порошковых покрытий позволяет значительно сократить расход дорогостоящих легированных материалов и позволяет существенно повысить надёжность деталей машин и оборудования. Одним из перспективных методов нанесения порошковых покрытий является электромагнитная наплавка (ЭМН).

Постановка задачи. Для правильного выбора технологических параметров процесса ЭМН необходимо знать характер их влияния на формирование наплавляемого слоя. Основные технологические параметры, определяющие производительность процесса и качество сформированного покрытия, представлены в таблице 1.

Одним из важных параметров процесса ЭМН является подача наплавляемого ферромагнитного порошка. Экспериментальными исследованиями установлено [1], что масса покрытия пропорциональна изменению величины подачи порошка. Возможность регулирования подачи, т. е. управление этим технологическим параметром, и прогнозирование величины подачи определяется характером работы конкретного бункерного дозирующего устройства.

Цель данного исследования – изучить зависимость величины подачи ферромагнитного порошка (для данного типа дозаторов) от гранулометрического состава порошков и угла наклона лотка бункерного дозирующего устройства.

Методика эксперимента. В работе была использована известная схема электромагнитного бункерного устройства [2]. Основными достоинствами электромагнитных возбуждателей являются:

- простота регулирования амплитуды вибрации и возможность её регулирования при работе устройства, что позволяет включать электровибрационные устройства в системы с автоматическим управлением производительностью;
- надёжность и долговечность, что обусловлено отсутствием в вибровозбудителе пар трения;
- возможность применения в одной вибромашине нескольких одновременно действующих вибровозбудителей без специальных мер по обеспечению синхронизации. Это обусловлено синхронностью работы вибровозбудителей при питании от общей сети и позволяет рассредоточить силы, возбуждающие колебания, по протяженному в одном или двух направлениях упругому рабочему органу [3].

Стасенко Леонид Дмитриевич, к.т.н., зав. кафедрой гидроневоавтоматики Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого.

Гринкевич Игорь Владимирович, ассистент кафедры технологии машиностроения Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого.

Кульгейко Галина Степановна, ассистент кафедры гидроневоавтоматики Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого.

Беларусь, ГГТУ им. П.О. Сухого, 246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.

Акулич Антон Павлович, к.т.н., доцент кафедры технологии машиностроения Брестского государственного технического университета. Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.