

«КЗТС»;

- покрытие TiCN-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiN передней поверхности методом Low stress coating позволяет вести высокопроизводительное получистовое и чистовое точение;
- покрытие TiCN задних поверхностей методом MT-CVD не дает требуемой износостойкости пластины;
- для обеспечения высокой стойкости пластины необходимо применение износостойких мультислойных PVD покрытий задних поверхностей.

#### Литература

1. Баранчиков В.И. Обработка специальных материалов в машиностроении. Справочник. Библиотека технолога: Баранчиков В.И., Тарапанов А.С., Харламов Г.А. М., Машиностроение, 2002. 264 с.
2. Гузеев В.И. Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков. Справочник: Гузеев В.И., Батуев В.А., Сурков И.В. М., Машиностроение, 2007. 366 с.
3. Гуревич Я.Л., Горохов М.В. Режимы резания труднообрабатываемых материалов. Справочник. М., Машиностроение, 1986. 268 с.
4. Подураев В.Н. Резание труднообрабатываемых материалов. М., Высшая шк., 1974. 590 с.
5. Руководство по металлообработке и каталоги продукции Sandvik Coromant (твердосплавный инструмент). Стокгольм, М., 2010. 415 с.
6. Черепяхин А.А., Кузнецов В.А. Технология конструкционных материалов. Обработка материалов резанием. М., изд. Академия, 2011. 287 с.

### **Критериальные конструктивно-технологические параметры оценки сложности отливок**

Волкомич А.А., к.т.н. доц. Сорокин Ю.А.  
 ЗАО «Литаформ», Университет машиностроения  
 8(495)223-05-23, доб. 1589

*Аннотация.* При производстве отливок часто возникают задачи, связанные со сложностью их изготовления. Они носят как технический, так и экономический характер. Как правило, в условиях производства эти задачи решаются на основе практического опыта, основанного на субъективном характере при их оценке. В предлагаемой статье авторы, опираясь на принципы, заложенные в начале этих работ, предлагают методику по определению сложности отливок независимо от способа их изготовления по конструктивно-технологическим параметрам литой детали. Для каждой из групп были разработаны оценочные критерии их определения.

*Ключевые слова:* производство отливок, методика определения сложности отливок, конструктивно-технологические параметры литой детали

При производстве отливок часто возникают задачи, связанные со сложностью их изготовления [1, 2]. Они носят как технический, так и экономический характер. Как правило, в условиях производства эти задачи решаются на основе практического опыта, основанного на субъективном характере при их оценке.

Известно, что в советское время существовал прејскурант цен №25-01, в котором был представлен классификатор оценки шести групп сложности отливок, и в каждой группе были представлены примеры таких отливок. К сожалению, оценка сложности была привязана к способам литья, при этом критерии по оценке сложности отливок носили субъективный характер.

В начале 90-х годов были начаты работы по разработке классификатора сложности отливок, активное участие в ней принимали Трухов А.П., Мешков В.П. и авторы статьи.

К сожалению, из-за появления договорных цен и снижения заинтересованности предприятий к этому вопросу работы в этом направлении были временно свернуты.

В предлагаемой статье авторы, опираясь на принципы, заложенные в начале этих работ, предлагают методику по определению сложности отливок независимо от способа их изготовления по конструктивно-технологическим параметрам литой детали.

Были выделены три группы оценочных параметров, влияющих на сложность изготовления отливок:

- 1) группа сложности по тонкостенности ( $C_T$ );
- 2) группа по конфигурационной сложности ( $C_K$ );
- 3) группа сложности по эксплуатационным требованиям ( $C_3$ ).

Для каждой из групп были разработаны оценочные критерии их определения.

Суммарное количество баллов по трем группам сложности предлагается рассчитывать по формуле:

$$C_{\Sigma} = 0,25 \cdot C_T + C_K + C_3.$$

Для окончательного определения группы сложности отливки разработана таблица 1.

Таблица 1

### Определение группы сложности литых деталей

Суммарное количество баллов сложности $C_{\Sigma}$	$\leq 4$	Св. 4 до 6	Св. до 8	Св. 8 до 10	Св. 10 до 12	Св. 12
Группа сложности литых деталей	1	2	3	4	5	6

Подробнее остановимся на оценочных параметрах для каждой из отмеченных групп.

#### Группа сложности по тонкостенности

Известно, что стенка является важным элементом, формирующим требуемую конфигурацию и обеспечивающим необходимую прочность конструкции литой детали, кроме того, на сложность ее изготовления оказывает технологический параметр жидкотекучесть сплава. Толщина стенки отливок связана с массой зависимостью, которую предложил Баландин Г.Ф.:

$$h = A \cdot m^b, \quad (1)$$

где:  $A$ ,  $b$  – коэффициенты, зависящие от многих параметров, в частности от сплава ( $A = 3,5 \dots 10,0$ ;  $b = 0,15 \dots 0,25$ ).

Заметно, что значительные интервалы коэффициентов в формуле (1) не позволяют использовать ее при расчете толщины стенки, кроме того, толщина стенок в отливке всегда имеет разные значения. В связи с этим были разработаны: таблица 2 по оценке тонкостенности литой детали, входными параметрами которой являются масса литой детали и средневзвешенная толщина стенки литой детали, и таблица 3 по определению группы тонкостенности, входными параметрами которой являются сплав и тонкостенность литой детали.

Таблица 2

#### Тонкостенность отливки (фрагмент)

Масса отливки, кг	Тонкостенность литой детали для средневзвешенной ее толщины				
	14	15	16	17	18
Св. 6.3...12	8.0	9.0	10	11	12
Св. 12...25	9.0	10	11	12	14
Св. 25...50	10	11	12	14	16
Св. 50...100	11	12	14	16	18

Таблица 3

#### Группа тонкостенности (фрагмент)

Класс тонкостенности сплавы	14	15	16	17	18
Сч15, Сч18, Сч20, Сч21	15	14	13	12	11
Сч25, Сч30, Сч35, ВЧ35, ВЧ40, ВЧ45, ВЧ50	16	15	14	13	12
ВЧ60, ВЧ70, ВЧ80, ВЧ100	17	16	15	14	13

Нелегированные стали	18	17	16	15	14
----------------------	----	----	----	----	----

При определении средневзвешенной толщины стенки литой детали предлагается два варианта, которые дают схожие результаты, но проще пользоваться формулой (3):

- первый – разбивка на элементы литой детали с определением толщины стенки элемента и массы ( в пределах массы литой детали) с определением  $\delta_{cp}$  по формуле (2):

$$\delta_{cp} = (\sum M_i \cdot \delta_{oi}) / M_o; \quad (2)$$

- второй – выбор трех наиболее характерных стенок литой детали с определением их толщин и протяженности с определением  $\delta_{cp}$  по формуле:

$$\delta_{cp} = (\sum L_i \cdot \delta_{oi}) / \sum L_{io}. \quad (3)$$

### Конфигурационная сложность литого изделия ( $C_k$ )

В эту группу входит комплекс параметров, которые влияют на сложность литого изделия. К ним были отнесены:

$C_n$  – условный балл сложности по признаку «количество полостей» в литой детали;

$C_{II}$  – условный балл сложности по признаку «протяженность полостей»;

$C_3$  – условный балл сложности по признаку «степень закрытости полостей»;

$C_p$  – условный балл сложности по признаку «рельеф поверхности».

Конфигурационная сложность литого изделия определяется по формуле (4):

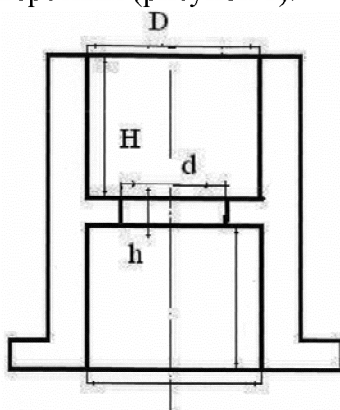
$$C_k = C_n + 0,5 \cdot (C_{II} + C_3 + C_p) / 4. \quad (4)$$

Параметр «количество полостей» оказывает наибольшее влияние на общий балл сложности, поскольку непосредственно требует дополнительных материальных физических и временных затрат, независимо от квалификации персонала и имеющегося оборудования.

Параметры «протяженность полостей», «степень закрытости полостей» оказывают влияние на характер отвода теплового (тепловые узлы в отливке) и газового (сужающийся газовый поток) потоков от отливки, условия выбивки, зачистки и очистки литых изделий.

Параметр «рельеф поверхности» отражает общие геометрические и технологические особенности поверхности изделия. Кроме ранее рассмотренных полостей, наличие ребер, выступов, углублений (поднутрений), отверстий в литом изделии, требующих дополнительных материальных и физических затрат (материалы, стоимость оснастки и т.п.).

Условные соотношения, при которых полости, углубления или отверстия отличаются между собой, приняты на основе анализа технических данных и собственных исследований и определяются по следующим соотношениям высот  $H$  и диаметра  $D$  рассматриваемых полостей. Если соотношение  $H/D < 0,25$ , то принято их относить к углублениям, если это отношение  $0,25 < H/D \leq 2,5$ , то принято их относить к полостям, и, наконец, если соотношение  $H/D > 2,5$ , то принято их относить к отверстиям (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Условные соотношения, при которых полости, углубления или отверстия отличаются между собой:  $H$  – высота полости,  $D$  – диаметр полости,  $h$  – высота углубления,  $d$  – диаметр углубления**

Если полости разделены отверстием или углублением, необходимо определить независимость полостей. Для этого следует оценить площади сечения полости и углубления или

отверстия, если частное от деления больше 2, то данные полости следует считать самостоятельными (независимыми).

Балл сложности по параметру «количество полостей» определяют по таблице 4. Сложность полостей характеризуется «протяженностью полостей» и «степенью закрытости полостей».

Таблица 4

**Количество полостей**

Общее количество полостей в литой детали, шт.	Балл сложности $C_{п}$
0	1
1-2	2
3-4	3
5-6	4
7-8	5
Св.8	6

Условный коэффициент сложности «по протяженности полости» предлагается оценивать по формуле (5):

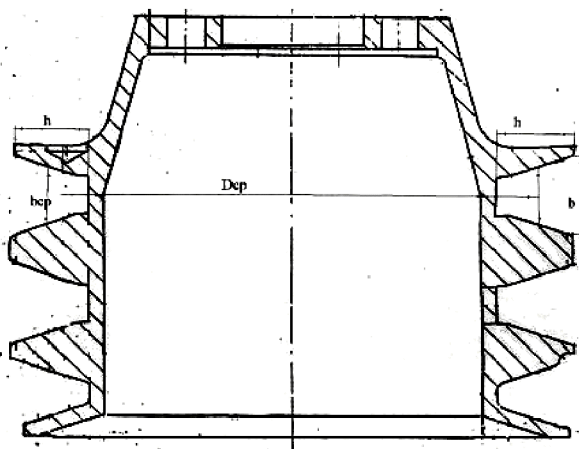
$$L_i = H_{max}/B_{min}, \tag{5}$$

где:  $L_i$  – эквивалент сложности полости;

$H_{max}$  – максимальный размер полости;

$B_{min}$  – минимальный поперечный размер полости.

Для отливок типа «шквив» за максимальный размер полости треугольного сечения принимается длина окружности со средним диаметром  $D_{cp}$ , т.е.  $H_{max} = \pi D_{cp}$  с минимальным размером  $B_{min} = b_{cp}$  принимается средний размер полости, если он меньше глубины полости  $h$ , рисунок 2.



**Рисунок 2 – Оценка протяженности полости для отливки типа «шквив»:  
b,  $b_{cp}$ , h – соответственно глубина и ширина полости,  $D_{cp}$  – средний диаметр, принимаемый в расчете длины окружности, при оценке протяженности полости**

Если количество полостей больше 1, то для них определяется средневзвешенное значение показателя протяженности всех рассматриваемых полостей по формуле:

$$C_{п} = \sum L_i \cdot n_i / N, \tag{6}$$

где:  $n$  – количество одинаковых полостей с условным баллом протяженности  $L_i$  (таблица 5),

$N$  – общее количество полостей.

Таблица 5

Условный коэф. сложности по протяженности $L_i = H_{max}/B_{min}$	Балл сложности $C_{п}$
св1	1
св 1-до1,3	2
св 1.3- до 1,5	3
св 1,5- до 2	4
св 2- до 4	5

св 4- до 6	6
св 6- до 9	7
св 9- до 12	8
св 12- до 15	9
св 15- до 18	10
св 18- до 21	11
Св21	12

Условный коэффициент по «степени закрытости полости» предлагается оценивать по формуле (таблица 6):

$$C_{zi} = S_{zn}/S_k, \quad (7)$$

где:  $S_{zn}$  – суммарная площадь знаковых частей (выходных отверстий полости отливки),  
 $S_k$  – площадь поверхности полости, контактируемой с металлом.

Таблица 6

**Сложность литой детали по критерию рельеф поверхности**

Коэффициент закрытости полости $C_{zi} = S_{zn}/S_k$	Балл сложности $C_{zi}$
$\geq 1$	1
1-0.9	2
0.9-0.8	3
0.8-0.7	4
0.7-0.6	5
0.6-0.5	6
0.5-0.4	7
0.4-0.3	8
0.3-0.2	9
0.2-0.1	10
0.1-0.05	11
Менее 0.05	12

Сложность литой детали по критерию «рельеф поверхности» предлагается оценивать путем суммирования отдельных компонентов (ребер, выступов, поднутрений и литых отверстий) рельефа поверхности литой детали. Балл сложности определяется по таблицы 7.

Таблица 7

**Сложность литой детали по критерию рельеф поверхности**

Сумма выступов, поднутрений и литых отверстий, шт.	Балл сложности $C_p$
0-2	1
3	2
4	3
5	4
6	5
7 - 8	6
9 - 10	7
11 - 12	8
13 -14	9
15 -16	10
17 -18	11
Свыше 18	12

Примечание: Для равномерно чередующихся впадин и выступов элементов (зубчатое колесо, тормозной диск вентилируемый, двигатель с воздушным охлаждением и др.) в суммарное количество входит либо сумма впадин, либо сумма выступов.

**Сложность литого изделия по эксплуатационным требованиям**

Сложность изготовления по этому признаку учитывает требования к качеству поверх-

ности, геометрической и размерной точности отливки, структуре и плотности металла, герметичности и механической обработке литого изделия.

Таблица 8

**Оценка сложности по минимальному значению шероховатости поверхности литой детали**

Среднеарифметическое отклонение профиля $R_a$ , мкм по ГОСТ Р53464-2009	2-4	5-8	10-20	25-50	63-100	$R_{z,} = 500$ ...1000
Условный балл сложности	6	5	4	3	2	1

Таблица 9

**Оценка сложности по классу размерной точности литой детали**

Класс размерной точности по ГОСТ Р53464-2009	$\leq$ КР3	КР4 КР5Т	КР5 КР7Т	КР7 КР10	КР10 КР13Т	$\geq$ КР13...
Условный балл сложности	6	5	4	3	2	1

Таблица 10

**Оценка сложности литого изделия по требованиям к герметичности**

Необходимость и вид испытаний на герметичность	нет	керосин	Вода $\leq 0,4$ МПа	Вода $\geq 0,4$ МПа
Условный балл сложности	1	4	5	6

Балл сложности в зависимости от объема механической обработки определяют по отношению площади механической обработки к общей площади поверхности, таблицы 11

Таблица 11

**Оценка сложности литой детали по объему механической обработки**

$S_{обр}/S_{общ} * 100\%$	до10	св10 до20	Св20 До35	Св35 До50	Св50 до75	Св75 До100
Условный балл сложности	1	2	3	4	5	6

Общий балл сложности по эксплуатационным требованиям определяется по формуле:

$$C_o = \sum C_{i_3} / 4. \quad (8)$$

Расчет, проведенный по предложенной методике для литых автомобильных деталей, показал хорошую сходимость с применяемой на практике оценкой сложности этих отливок в производстве (таблица 12). Предполагается провести оценку предлагаемой методики на более широкой номенклатуре литых деталей.

Таблица 12

Чашка дифференциала ЗИЛ 130		Блок цилиндров V-образ. 8-цилиндр. Ал-сплав	
Группа сложности		Группа сложности	
практика	методика	практика	методика
4	5	6	6

Продолжение таблицы 12

Гильза цилиндров ЗИЛ 130		Шкив коленчатого вала ЗИЛ 130		Барaban тормозной ЗИЛ130	
Группа сложности		Группа сложности		Группа сложности	
практика	методика	практика	методика	практика	методика
4	4	3	3	3	3

**Выводы**

Проверка методики по оценке сложности известных автомобильных отливок показал хорошее совпадение расчетных результатов.

Предполагается проверить методику по оценке сложности отливок на более широкой номенклатуре машиностроительных отливок

**Литература**

1. Трухов А.П., Волкомич А.А., Сорокин Ю.А., Слободина И.А Технологические основы

САПР отливок, изготавливаемых в сырых песчано-глинистых формах. Журнал «Литейное производство». № 4, 5, 1995.

2. Трухов А.П., Волкомич А.А., Сорокин Ю.А., Слободина И.А., Рожков А.М. Особенности технологических моделей в САПР «Отливка». Журнал «Литейщик России». № 8, 2006.

### **Применение фрактального анализа для описания и оценки стохастически сформированных поверхностей**

д.т.н. проф. Вячеслава О.Ф., Бавыкин О.Б.  
Университет машиностроения  
ray86@list.ru

*Аннотация.* В статье, на примере сплава 1201 предложен современный, основанный на фрактальном анализе, подход для описания и оценки стохастически сформированных поверхностей. Приведены результаты исследования взаимосвязи численных значений фрактальной размерности и параметров технологии размерной электрохимической обработки.

*Ключевые слова:* фрактальный анализ, фрактальная размерность, РЭХО, шероховатость.

В последние годы в машиностроении наблюдается тенденция изготовления деталей из материалов, полученных современными методами обработки: эпитаксией, золь-гель процессами, электрофизическими и электрохимическими методами.

На поверхностном слое таких изделий присутствуют элементы со сложной и разнообразной формой, распределение которых носит стохастический характер [1]. Случайность структуры проявляется в негауссовой статистике ее поведения с преобладанием степенных законов распределения вероятностей.

Описанная выше черта вызывает проблему адекватного описания процесса образования поверхностного слоя стохастически сформированных поверхностей для последующего его изучения. Применение традиционных методов приводит к потере весомой части полезной информации, в результате чего искажается представление о топологии и топографии поверхностей, и как следствие – понижается достоверность прогнозируемых функциональных свойств деталей и изделий в целом.

Возможным подходом повышения эффективности исследования наноматериалов, учитывающим особенности формирования структуры, может служить применение методов фрактальной геометрии [2].

Предлагаемая концепция реализуется на примере сплава 1201 и размерной электрохимической обработки (РЭХО). Данный материал обладает доказанными фрактальными свойствами сильной интенсивности [3].

Для достижения поставленной цели необходимо решить две задачи:

- установить взаимосвязь между параметрами РЭХО (тип электролита – 15 % NaCl + 15 % NaNO<sub>3</sub> или 15 % NaNO<sub>3</sub>; температура электролита – T; скорость подачи катода-инструмента – V<sub>к</sub>; скорость потока электролита – V<sub>э</sub>) и качеством обработанного материала (параметр шероховатости поверхности R<sub>а</sub>);
- определить зависимость между фрактальной размерностью поверхности обработанного объекта и параметрами РЭХО.

Первая задача решена в работе [4]. Согласно полученным данным, для сплава 1201 наибольшее влияние на параметр R<sub>а</sub> из всех факторов оказывают:

- температура электролита;
- скорость подачи электролита.

Для решения второй задачи были подсчитаны значения фрактальных размерностей по спектру для ряда РЭХО поверхностей (таблица 1).

Расчеты выполнялись в специальной компьютерной программе [5].