

тываемый материал будет деформироваться, что значительно повысит остаточные напряжения. По данным [6] нагрузка на единицу длины кромки определяется:

$$\rho_n = \frac{\rho E}{9,35} \sin^2 \theta,$$

где  $\rho$  – радиус округления лезвия, мм;  $E$  – модуль упругости, МПа;  $\theta$  – угол скалывания, град.

Исходя из выражения можно определить радиус округления лезвия имея допустимую нагрузку на единицу длины  $[\rho_n]$ . Получим:

$$\rho = \frac{9,35[\rho_n]E}{E \sin^2 \theta}.$$

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Верещака А. С., Третьяков И. П. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями. М.: Машиностроение, 1986. 192 с.
2. Гах В. М. [и др.]. Упрочняющее скругление кромок твердосплавного инструмента методом объемной вибрационной обработки // Вестник машиностроения. 1975. № 12. С. 44–47.
3. Аршинов В. А., Алексеев Г. А. Резание металлов и режущий инструмент: учебник для машиностроительных техникумов. Изд. 3-е перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1976. 440 с.
4. Башков В. М., Кацев П. Г. Испытания режущего инструмента на стойкость. М.: Машиностроение, 1985. 130 с.
5. Реченко Д. С., Попов А. Ю. Технология высокоскоростного затачивания твердосплавных инструментов // Старый Оскол: ТНТ. 2015. 160 с.
6. Полетика М. Ф. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента. М.: Машиностроение, 1969. 150 с.

УДК 621.74.041

### ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ОТЛИВОК ПРИ ЛИТЬЕ В ВАКУУМНО-ПЛЕНОЧНЫЕ ФОРМЫ

М. Ю. Солнышков

*Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия*

**Аннотация.** Изготовление отливок в вакуумно-пленочных формах (ВПФ) является высокоэффективной, ресурсосберегающей технологией, позволяющее получать литые изделия с более высокими параметрами качества, чем в обычных песчано-глинистых формах. Сложность физико-химических процессов, протекающих при формировании отливок в таких формах, с одной стороны ограничивает возможность использования этого способа для любых типоразмеров литья, с другой стороны не позволяет применять традиционные методы проектирования при разработке технологии. Целью работы является повышение эффективности и расширение области применения изготовления отливок в (ВПФ). В соответствии с этой задачей исследования является определение основных типоразмеров отливок, рекомендованных к изготовлению в ВПФ, выявление основополагающих специальных конструкторско-технологических объектов в ВПФ, влияющих на формирование отливки и позволяющих получать качественное литье. На основании ранее полученных экспериментальных данных проведен теоретический анализ, позволивший сделать следующие выводы: основными параметрами отливки, определяющими возможность ее изготовления в ВПФ, являются габаритные размеры, толщина стенок и величина разностенности; основополагающими конструкторско-технологическими объектами в ВПФ, влияющими на формирование отливки и позволяющие получать качественное литье являются литниково-питающая и, в большей степени, вентиляционная системы; основным направлением развития основ расчета и создания методик проектирования таких конструкций для ВПФ являются теплофизический расчет в системе: жидкий металл – полимерная пленка – краска – формовочный наполнитель и вакуумно-временной расчет в системе: объем наполнителя формы – поверхностный пленочно-фильтрационный слой – объем литейной полости.

**Ключевые слова:** *изготовление отливок, вакуумно-пленочная форма (ВПФ), фильтрационный слой в ВПФ, литниково-питающая система ВПФ, вентиляционная система ВПФ.*

**DOI:** 10.25206/2310-4597-2019-1-17-20

## I. ВВЕДЕНИЕ

В условиях рыночной экономики, при высокой степени конкуренции и насыщенности рынка отечественной и главным образом, импортной продукцией машиностроения все чаще встают вопросы не только качественно-эксплуатационного сегмента, но в первую очередь параметры расходно-материального и ценового характера. В связи с этим, очевидно, что для выпуска конкурентно способных изделий, целесообразно направлять усилия на использование более дешевых исходных материалов и минимизацию их количественного расхода. Также, следует обращать внимание на использование менее дорогостоящих технологических процессов и средств, разрабатываемых для их производства. При этом конечные потребительские свойства таких изделий должны оставаться на должном уровне. Предпочтение следует отдавать высокоэффективным, энерго- и ресурсосберегающим технологиям изготовления, как конечной продукции, так и всех технологических переделов для ее производства.

Значительная часть различных деталей машин и механизмов изготавливается из фасонного литья, либо из литых заготовок. В области литейного производства практически все свойства и характеристики будущих отливок из любого сплава, такие как размерная точность, чистота поверхности, величина припусков на механическую обработку, наличие внутренних и поверхностных дефектов и т.д., определяются свойствами литейной формы и условиями формирования отливок в ней. Наиболее массовый традиционный способ изготовления отливок в разовых песчано-глинистых формах (ПГФ), связанный с огромными затратами на смесеприготовление, формообразование, выбивку и очистку литья, давно уже является недостаточно эффективным.

Производство отливок в разовых вакуумно-пленочных формах (ВПФ) является одной из перспективных технологий получения отливок. Изготовление ВПФ – высокоэффективный, малоотходный процесс формообразования, характеризующийся резким уменьшением расхода формовочных материалов, существенным снижением трудоемкости, значительным улучшением санитарно-гигиенических условий труда. Отливки, получаемые в таких формах, по сравнению с отливками обычных ПГФ, имеют более высокие размерную и весовую точность, а также качество поверхности. Однако, не смотря на неоспоримые преимущества и кажущуюся простоту процесса формообразования, далеко не все типоразмеры отливок можно изготавливать в таких формах [1].

## II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

Задачей исследования в данной работе является теоретическое определение основных типоразмеров отливок, рекомендованных к изготовлению в ВПФ, выявление основополагающих специальных конструкторско-технологических объектов в ВПФ, влияющих на формирование отливки и позволяющих получать качественное литье.

## III. ТЕОРИЯ

Изучение и экспериментальное исследование процессов, протекающих в ВПФ при ее формообразовании [2], а также физико-химических процессов, протекающих при ее заполнении жидким расплавом и последующей кристаллизации отливки [3], позволяет сформулировать следующие основные закономерности формирования отливки. При заполнении литейной формы расплавленным металлом происходит быстрый нагрев газов в литейной полости. Тепловое взаимодействие с движущимся расплавом и с горячими газами приводит к нагреву поверхностного слоя формы в каналах литниково-питающей системы и по всему объему литейной полости. При этом пленка, оформляющая эти поверхности, плавится и под действием вакуумирующих сил фильтруется в поверхностный слой песчаного наполнителя формы. Одновременно протекает процесс деструкции фильтрата. Глубина фильтрации и степень деструкции определяют устойчивость стенок ВПФ и возможность получения бездефектных высококачественных отливок.

## IV. АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Исходя из этих закономерностей, в первом приближении, можно сформулировать основные положения параметрических характеристик отливок, изготовление которых в ВПФ является наиболее целесообразным:

1. Среднее и, особенно, крупное по габаритным размерам литье, для которого изготовление литейных форм сопряжено с огромными затратами (металлические формы), или со значительной эргономикой (круп-

ное энергоемкое формовочное оборудование), или с существенным расходом дорогих формовочных материалов (разовые ППФ).

2. Относительно тонкостенное литье, предельная толщина стенок которого зависит от соотношения двух факторов: времени заполнения формы с последующей кристаллизацией сплава и времени устойчивости стенок формы при ее физико-химическом взаимодействии с движущимся жидким и кристаллизующимся металлом.

3. Равностенное литье с незначительными перепадами толщин стенок отливки, без тепловых узлов и местных утолщений.

4. Отливки практически любой массы, для которых выполняются первые три положения.

5. При анализе возможности изготовления конкретной отливки необходимо иметь в виду, что некоторые конструкторско-технологические решения в ВПФ, или назначение определенных режимов литья на стадиях проектирования, разработки и отладки технологического процесса могут существенно раздвинуть границы и возможности получения на первый взгляд не технологичных для этого метода отливок.

Следует отметить, что в настоящее время не существует специальных методик расчета различных технологических систем и основных конструктивных элементов ВПФ, а также технологических параметров изготовления таких форм. Поэтому при разработке технологического процесса изготовления отливок в ВПФ, как правило, используются традиционные методики расчетов для обычных ППФ с последующей доводкой по результатам первых заливок. Для повышения эффективности проектно-технологических работ несомненным является необходимость разработки новых методик расчетов, основывающихся на реальных процессах, протекающих в литейной форме на стадии формирования отливки и позволяющих вырабатывать наиболее оптимальные технологические решения.

Помимо традиционных расчетных величин, используемых при проектировании технологического процесса изготовления отливки, таких как: металлостатический напор, высота отливки по положению при заливке; температура заливки и вязкодинамические свойства сплава; время и скорость заполнения формы; ее необходимые прочностные и технологические характеристики, при определении возможности изготовления конкретной отливки в ВПФ следует определять и анализировать дополнительные факторы, влияющие на механизм формирования отливки в такой форме. К таким факторам можно отнести: максимально возможную величину перегрева, интервал кристаллизации и основность заливаемого сплава; суммарную площадь поверхности отливки и ее соотношение с объемом литейной полости; теплофизические свойства и толщину слоя противопригарного покрытия; фильтрационные характеристики наполнителя формы и динамику их изменения. Необходимо провести критериальный теплофизический расчет системы теплового взаимодействия: жидкий металл – полимерная пленка – краска – формовочный наполнитель для определения предельно допустимых термо-временных режимов заполнения формы. Рассчитанные величины оптимальных температуры заливки, а также времени заполнения формы могут быть положены в основу конструирования и расчетов литниково-питающей системы (ЛПС), обеспечивающей максимально быстрое заполнение литейной полости при минимально возможном динамическом воздействии на рабочие поверхности ВПФ. Использование этих положений позволит предотвратить не только местные разрушения в литейной полости формы при ее заполнении жидким металлом, но и полностью исключить явления эрозии и искажения рабочих поверхностей. Существующие в настоящее время методики расчета ЛПС базируются в своей основе на законы и явления гидравлики, не учитывающие вышеуказанные физико-химические процессы, протекающие в ВПФ при заливке.

С другой стороны устойчивость рабочих поверхностей и стенок ВПФ определяется ее газовым режимом. Для его правильной организации необходимо провести вакуумно-временной расчет в системе: объем наполнителя формы – поверхностный пленочно-фильтрационный слой – объем литейной полости для определения предельно допустимых газодинамических режимов работы ВПФ. Рассчитанные величины оптимального разрежения в форме, допустимого газового давления в поверхностном слое и предельного газового противодействия в литейной полости могут быть положены в основу конструирования и расчетов вентиляционной системы, обеспечивающей спокойный отвод газов из литейной полости и необходимую динамику движения фильтрата в поверхностном слое ВПФ. Существующие в настоящее время методики расчета подобных систем также не отражают в полной мере процессы, протекающие в ВПФ, при ее заливке.

Таким образом, в настоящее время перспективным направлением освоения и развития способа литья в ВПФ является, во-первых, дальнейшее совершенствование основ расчета физико-химических процессов, протекающих в литейной форме с целью обоснования и оптимизации назначаемых технологических параметров заливки. Во-вторых, создание методик проектирования и расчет специализированных конструкторско-технологических объектов, таких как литниково-питающие, вентиляционные системы и их составляющие элементы.

## В. ВЫВОДЫ

1. Основными параметрами отливки, определяющими возможность ее изготовления в ВПФ, являются габаритные размеры, толщина стенок и величина разностенности.

2. Основополагающими конструкторско-технологическими объектами в ВПФ, влияющими на формирование отливки и позволяющие получать качественное литье являются литниково-питающая и в большей степени вентиляционная системы.

3. Основным направлением развития основ расчета и создания методик проектирования таких конструкций для ВПФ являются теплофизический расчет в системе: жидкий металл - полимерная пленка – краска – формовочный наполнитель и вакуумно-временной расчет в системе: объем наполнителя формы – поверхностный пленочно-фильтрационный слой – объем литейной полости.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солнышков М. Ю., Васильев В. А. Брак отливок из серого чугуна, полученных методом вакуумно-пленочной формовки и способы борьбы с ним // Прогрессивные технологические процессы в литейном производстве. Омск: ОмПИ, 1989. С. 88–92.

2. Солнышков М. Ю., Горбунов О. А., Васильев В. А. Формирование прочности литейной формы при вакуумно-пленочной формовке // Литейное производство. 1987. № 1. С. 16–17.

3. Солнышков М. Ю., Сабралиев Н. С., Васильев В. А. Кинетика газообразования в вакуумируемых формах // Литейное производство 1986. № 7. С. 11–12.

УДК 531.7:54.08

### ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ НА КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ МАШИНЕ С ПОМОЩЬЮ ЭТАЛОННОГО КОЛЬЦА

А. В. Тигнибидин, С. Х. Хужамуратов

*Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия*

**Аннотация.** В последнее время использование на производстве координатно-измерительных машин (КИМ) позволяет оперативно измерять геометрические параметры простых и сложных деталей, включая те детали, измерение которых традиционными способами требует дорогостоящей специальной оснастки. В данной статье приведены экспериментальные исследования измерения эталонного кольца на портальной КИМ Mitutoyo в разных положениях, под разными углами и разным положением калибровки измерительного наконечника.

**Ключевые слова:** координатно-измерительная машина, эталонное кольцо, погрешность

**DOI:** 10.25206/2310-4597-2019-1-20-23

#### I. ВВЕДЕНИЕ

В машиностроении, приборостроении и других областях промышленности используются различные измерительные приборы. К ним относятся микрометр, глубиномер, КИМ и т.д. Координатные измерения давно привлекали конструкторов и метрологов, потому что измерения отдельных параметров сложных деталей (коленчатых и распределительных валов, турбинных лопаток, корпусных деталей с большим количеством отверстий и др.) универсальными средствами и с помощью специальных приспособлений не давали полного представления об их годности для сборки и эксплуатационных качествах. Универсальные средства, многомерные устройства и автоматы тоже не давали ясного представления о взаимном положении, ориентации и позиционировании отдельных элементов сложных деталей. В итоге до появления КИМ многие задачи измерения геометрических параметров деталей не могли быть решены.

#### II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

КИМ как и другие средства измерений имеет погрешности при измерений. Погрешность средства измерений представляет собой разность между показанием средства измерений и истинным (действительным) значением измеряемой физической величины. Погрешности бывают случайные, систематические и др. Систематическая погрешность может появляться в результате механического износа деталей в измерительной машине или старением электронных компонентов. Для выявления случайных погрешностей проводится многократное измерение одной и той же величины, одним и тем же средством измерения, при одинаковых условиях.