ЗАПОЛНЯЕМОСТЬ ФОРМ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ОТЛИВОК

А.Б. Финкельштейн, И.С. Казанцев (*г. Екатеринбург, Россия*)

Повышение конкурентоспособности продукции отечественного самолетостроения требует широкого применения в конструкциях летательных аппаратов современных материалов. Одним из таких материалов является пористый литой алюминий (ПЛА), производимый рядом предприятий Свердловской области по технологии, разработанной кафедрой Литейного производства УГТУ. Наиболее эффективная область применения ПЛА - фильтрация жидкостей. По сравнению с традиционно используемой в качестве фильтров спеченной бронзой ПЛА обладает рядом преимуществ: низким весом, в 2 раза большей грязеемкостью, лучшими механическими свойствами, тонкостью фильтрации до 5 мкм, на несколько порядков большей проницаемостью, практически не зависящей от тонкости фильтрации, высокой коррозионной стойкостью. Технология производства позволяет получать изделия любых размеров и конфигурации, сочетающих пористую и монолитную часть. Себестоимость готовых изделий составляет всего около \$15/кг. Этот комплекс свойств открывает для ПЛА большие перспективы в самолетостроении.

Технология производства ПЛА предусматривает заливку расплава алюминия вакуумным всасыванием в засыпку из впоследствии экстрагируемого наполнителя. В качестве наполнителя из технико-экономических соображений используется NaCl, который впоследствии удаляется из отливки растворением в воде. Таким образом, основной стадией производства ПЛА является получение композиционной отливки Al-NaCl. В настоящее время научные основы изготовления композиционного литья недостаточно разработаны. При освоении новой продукции приходится действовать методом «проб и ошибок», проводить многочисленные эксперименты, что существенно увеличивает сроки и себестоимость. Кроме того, высок уровень брака.

Разработка научных основ технологии всегда опирается на решение возникающих перед специалистами проблем. Для литейного производства основная проблема - предотвращение дефектов. При производстве композиционного литья возникают как дефекты, которые могут быть классифицированы по ГОСТ 19200-80, так и весьма специфич-

ные. Одним из основных дефектов композиционного является недолив, т.е. неполное образование отливки вследствие незаполнения литейной формы металлом при заливке. Физические причины образования этого дефекта и методы его устранения следующие:

1. Недостаточная температура расплава. Повышение температуры расплава при производстве композиционного литья крайне нежелательно из-за особенностей технологического процесса. Поскольку теплопроводность дисперсного наполнителя значительно ниже теплопроводности расплава, то после заливки металлом с завышенной температурой именно композиционная часть отливки играет роль прибыли и в ней формируется усадочная раковина. Для формирования композиционных отливок без усадочных дефектов совершенно необходима минимально возможная температура расплава. По технологии производства она принята на 30-40°C выше температуры ликвидус.

2. Недостаточная скорость расплава. Скорость движения расплава в капиллярных зазорах наполнителя определяется разрежением в вакуум-ресивере. В рамках технологии вакуумного всасывания возможности варьирования скорости расплава вообще незначительны. Кроме того, большинство эксплуатационных свойств готового изделия, в частности пористость, проницаемость, тонкость фильтрации задается именно степенью разрежения в вакуум-ресивере. Поэтому скорость течения расплава не поддается регулировке.

3. Недостаточная температура наполнителя. Причиной может быть недостаточный прогрев наполнителя в камерной печи. Только температурой нагрева наполнителя можно регулировать заполняемость литейных форм при производстве композиционных отливок.

Бесконечное течение расплава в капиллярных зазорах наполнителя можно обеспечить в условиях их изотермии. Однако с технологической точки зрения это неприемлемо, так как приводит к формированию усадочных дефектов по механизму, описанному выше. Очевидно, что с целью сокращения брака по усадочным дефектам необходимо использовать наполнитель, прогретый до минимально возможных температур. Заполняемость литейных форм в зависимости от температуры

наполнителя была исследована экспериментально на установке, которая представляет собой цилиндрическую металлическую форму, ранее используемую для изготовления серийной продукции. Форма установлена в трубчатую электрическую печь. Наполнитель, в отличие от технологического процесса, прогревается не в камерной печи, а непосредственно в форме, что необходимо для обеспечения «чистоты» эксперимента. В реальном производственном процессе из-за разности температур наполнителя и металлической формы в наполнителе возникают градиенты, из-за которых заполняемость формы по ее сечению различна и отливка с недоливом имеет вид гиперболического параболоида. Температура нагрева наполнителя контролируется термпарой. При достижении наполнителем изотермии с металлической формой термпара из наполнителя вынимается. Затем на поверхность наполнителя заливается расплав. После вакуумирования наполнителя расплав заполняет форму. Затвердевшая отливка выбивается.

Несмотря на все принятые меры по обеспечению равномерности течения расплава, получить отливку цилиндрического сечения не удалось. Полученные экспериментальные отливки имеют форму цилиндра, переходящего в гиперболический параболоид. По всей видимости, это связано с гидравлическим торможением расплава на стенке формы.

Поскольку поверхность композиционной части отливки скрыта под цельнометаллической прибыльной частью, для выявления глубины пропитки необходимо разрезать отливку по оси симметрии. В качестве измерительного инструмента использовалась мерная линейка. Фиксировалась максимальная длина композиционной части отливки.

В экспериментах использовался расплав чистого алюминия АВОООО; в качестве наполнителя - поваренная соль (не йодированная) различных фракций. Давление в вакуум-ресивере поддерживалось на уровне 50000 Па. Температура заливки расплава 700°C. В результате проведенных экспериментов выявлено:

1. Существует некоторая критическая температура наполнителя, ниже которой заполнение формы расплавом вообще не происходит.

2. При любой температуре наполнителя расплав пропитывает его на глубину 3-5 мм.

Это происходит вследствие прогрева поверхностного слоя наполнителя расплавом

3. При температуре наполнителя 620 °С (а не в изотермии, как предполагалось ранее) вне зависимости от фракции обеспечивается заполнение формы расплавом. По всей видимости, это связано с ковровым течением расплава в дисперсном наполнителе. На поверхность наполнителя благодаря ковровому течению постоянно поступают частицы расплава с температурой заливки. Следовательно, температуру наполнителя для обеспечения условно-бесконечного течения можно рассчитать из теплового баланса:

$$C_{\text{мрм}}\Pi(T_{\text{зал}}-T_{\text{ликв}})=C_{\text{нрн}}(1-\Pi)(T_{\text{ликв}}-T_{\text{н}}),$$

где $c_{\text{м}}$, $c_{\text{н}}$ – теплоемкость металла и наполнителя соответственно;

$\rho_{\text{м}}$, $\rho_{\text{н}}$ – плотность металла и наполнителя соответственно;

Π – пористость засыпки;

$T_{\text{зал}}$ – температура заливки расплава;

$T_{\text{ликв}}$ – температура ликвидус расплава;

$T_{\text{н}}$ – температура нагрева наполнителя.

Решение уравнения теплового баланса в указанных выше условиях эксперимента подтвердило температуру нагрева наполнителя для обеспечения условно-бесконечного течения 620 °С. Это же значение присутствует в полученной из экспериментальных данных формуле для расчета критической температуры наполнителя.

Из полученных экспериментальных данных следует, что температура наполнителя должна находиться в диапазоне между критической температурой и температурой условно-бесконечного течения, желательно ближе к нижнему пределу. В производственных условиях предлагается выдерживать температуру подогрева наполнителя на 30-40°C выше критической, но не более температуры условно-бесконечного течения. Использование полученных зависимостей позволило снизить брак пористого литья на 4%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент Японии №60-184651, кл. С 22С 1/08, 1985].
2. Причины и методы предотвращения усадочных дефектов в пористых литых заготовках/ Е.Л. Фурман, А.Б. Финкельштейн, А.В. Чечулин, Мягмаржавын Баттугс // Прогрессивные технологические процессы и подготовка кадров для литейного производства. – Екатеринбург: УГППУ, 1996. – С. 148-152.