

**Ключевые слова:**

литье по выплавляемым моделям, краевой угол смачивания, модельный состав, поверхностное натяжение, коэффициент использования металла

ПОВЫШЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТАЛЛА (ОТЛИВОК) ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ СТАНКОВ

Станислав ТКАЧЕНКО, Вадим ЕМЕЛЬЯНОВ, Константин МАРТЫНОВ

Рассмотрена проблема повышения коэффициента использования металла (отливок) при изготовлении деталей станков, получаемых методом литья по выплавляемым моделям. Приведены значения краевого угла смачивания для различных модельных составов и материалов прессформ. Представлена зависимость поверхностных явлений в зависимости от температуры расплава модельного состава.

Хороший станочный парк в машиностроительных предприятиях – это больше чем половина успешного существования любой фирмы и продвижения ее продукции на внутреннем и внешнем рынках. Процесс изготовления металлообрабатывающего оборудования (МОО) весьма трудоемкий, а изделия металлоемкие. Для примера: станки модельного ряда 2Е656 имеют около 180 литых деталей общей массой 55 т и 4 т стальных деталей, изготовленных из проката.

В доперестроечный период (в советское время) заводы Минстанкопрома выпускали около 100 тыс. единиц МОО в год, из них 23% экспортировалось. Отрасль производила 1 350 тыс. т отливок. Чугунные детали в станке составляли до 85%, остальные – из стали и цветных сплавов. Учитывая, что мелкие стальные детали (3–10 кг) составляют в массе станка 0,5–1,0%, станкозаводы изготавливали их из цельного куска стали методом токарно-фрезерной обработки. При этом коэффициент использования металла (КИМ) составлял 10–15% при затратах большого количества нормочасов (в зависимости от сложности детали). Для повышения конкурентоспособности отечественных МОО необходимо повысить геометрическую точность всех литых заготовок

станка, максимально приблизив их к размерам готовой детали, улучшить качество литых поверхностей, увеличить КИМ, и тем самым значительно сократить стоимость нормочаса при производстве деталей станка. В данной статье рекомендуется обратить особое внимание на качественное изготовление выплавляемых моделей, что значительно влияет на геометрическую точность отливки и качество поверхности (шероховатость). Это позволит повысить КИМ до 75–80% и многие отливки использовать в станках без механической обработки.

Точность отливок, получаемых методом литья по выплавляемым моделям (ЛВМ), определяется в первую очередь качеством модели. Модель должна соответствовать геометрическим размерам и иметь заданную структуру поверхности. Геометрическая точность модели разделяется на размерную точность по усадке модельного состава, коробление, как следствие неравномерного охлаждения, и точность отпечатка с прессформы.

Усадочные дефекты и коробление нивелируют за счет подбора марки модельного состава, либо путем понижения плотности модели. Для действующего производства, укомплектованного

оборудованием по замешиванию воздуха в модельную массу, эта проблема не возникает. В случае стартапа возможны варианты по приобретению специальных шестеренчатых насосов, либо работа на импортных малоусадочных модельных составах. Импортные материалы дороги и, как правило, требуют регенерации. Известны примеры успешной работы на регенерируемых составах методом частичного освежения. Если предприятие стремится к максимальной независимости от импорта, то используется бюджетный вариант модельного состава ПС 50-50. Состав готовят непосредственно на производстве. Технический стеарин и парафин доступны на рынке. Состав дает малую усадку, но требует обязательного понижения рН воды в ванне для вытопки до 2–3. В противном случае происходит омыление стеарина. Состав ПС 50-50 пригоден для отливок, не требующих высокой чистоты поверхности. Парафин, входящий в состав, не позволяет получить «глянцевую» поверхность модели. Этих недостатков был лишен состав Р-3. На сегодняшний день материал, поставляемый под этой маркой, подвержен разделению на фракции при нагреве и не может быть рекомендован к использованию.

Точность отпечатка с пресс-формы – проблема комплексная. Здесь различают складчатую поверхность модели и незаполнение элементов формы. Складчатость поверхности возникает в результате формирования угла натекания при заполнении пресс-формы модельным составом [1]. В результате охлаждения фронта потока растет краевой угол смачивания. Когда капиллярное сопротивление превышает давление модельной массы, поток останавливается. По мере нарастания давления поток продвигается до следующего состояния равновесия. Каждая остановка фронта потока модельного состава сопровождается складкой на поверхности модели. Борьба с таким дефектом сводится к недопущению переохлаждения модельного состава в процессе запрессовки. Для этого повышают температуру модельной массы и подогревают пресс-форму. При чрезмерном повышении температуры в зоне «модель – форма» растет сила адгезии модельного состава к материалу оснастки. Что, в свою очередь, приводит к затрудненному выему модели.

Заполняемость пресс-формы модельной массой зависит от наличия выпоров в оснастке и капиллярного сопротивления в заполняемых частях формы. Макроскопические объемы от 10 мм³ заполняются без затруднений при наличии каналов для удаления запираемого воздуха. Объемы менее 10 мм³ можно отнести к капиллярам, и их отпечаток определяется силами капиллярного сопротивления.

Таблица 1. Статический краевой угол смачивания для состава Р-3

$T_{\text{сост}}$, °С	90	85	80	75	65
Θ_0 , °	57	59	65	66	90

Таблица 2. Результаты измерений статического краевого угла смачивания на металлических подложках

Подложка	Состав: Р-3
АЛ-2	$\Theta_0=790$
Pb	$\Theta_0=750$
Л-60	$\Theta_0=740$

Давление запрессовки обычно составляет не более 1 МПа [2]. Статический краевой угол смачивания, измеренный для состава ПЦБКо 70-12-13-5 (Р-3) в зависимости от температуры, представлен в табл. 1. Измерения показывают, что режим смачивания переходит в состояние не смачивания при 65°С. Модельный состав запрессовывают при более низкой температуре, то есть гарантированно в режиме не смачивания.

Материал пресс-формы не оказывает существенного влияния на краевой угол смачивания. Для металлических материалов он составляет порядка 75° (табл. 2).

Эластичные материалы показывают более низкий краевой угол смачивания – около 65°. Это не меняет условий смачивания и не может сказаться на заполнении пресс-формы. Понижение Θ_0 на органических материалах связано с условиями охлаждения модельной массы на подложке. Для корректного измерения необходимо иметь одинаковую температуру твердой и жидкой фазы. В этом случае имеет место случай растекания, Θ_0 составляет 1–5°. В пресс-форме такой режим приводит к прилипанию модели. Заполнение с гарантированным съемом возможно, если Θ_0 не менее 65°.

Среднее значение статического краевого угла смачивания на различных видах резины и виксинте представлены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты измерений Θ_0 на различных эластичных подложках

Подложка	Состав: Р-3
Сырая резина	$\Theta_0=56^\circ$
Вулканизированная резина	$\Theta_0=65^\circ$
Белая резина	$\Theta_0=68^\circ$
Виксинт У – 1 – 18	$\Theta_0=65^\circ$

Таблица 4. Поверхностное натяжение модельного состава ПЦБКо 70-12-13-5 (Р-3) в зависимости от температуры

Температура, °С	75	85	90
Поверхностное натяжение на границе раздела «жидкость – газ», мН/м	31,2	30,4	28,6

Поверхностное натяжение при понижении температуры незначительно повышается (табл. 4). В твердом состоянии основной компонент модельного состава парафин имеет поверхностное натяжение порядка 40 мН/м [3]. В жидком состоянии капиллярное сопротивление ничтожно и составляет около 50 Па. Запрессовка модельного состава происходит в пастообразном состоянии, то есть при поверхностном натяжении пластичной фазы порядка 1 кН/м, что соответствует капиллярному сопротивлению около 20 МПа. Применять подобные давления для заправки нецелесообразно. Происходит повышенный износ эластичных рукавов и есть опасность распыления пресс-форм.

Таким образом, получение выплавляемой модели, имеющей радиусы закруглений порядка 0,1 мм, возможно только модельным составом в жидком состоянии. В условиях мелкосерийного и единичного производства части формы, требующие точного отпечатка, смазывают при раскритой оснастке жидким модельным составом. Температура перегрева выше точки плавления на 10–30°С. Состав наносят кистью на проблемные участки формы в 1–3 слоя, при запрессовке основной модельной массы происходит приваривание поверхностных пленок.

В некоторых случаях, например при получении литого шрифта на поверхности корпусных заготовок, возможно выполнение стенок формы, отвечающей за шрифт, в виде параболы. Капиллярное сопротивление цилиндрического капилляра и капилляра, имеющего стенки в виде параболы, различны. Канал, имеющий наклон стенки к внутренней оси, формирует меньший краевой угол смачивания, нежели цилиндрический [4].

КИМ при изготовлении отливок существенно повышается за счет рационального исполнения литниково-питающей системы. В условиях постоянно меняющейся номенклатуры и малых партий изделий, технолог вынужден применять модели стояков из имеющейся номенклатуры. Недостаточное сечение приводит к браку по усадочным дефектам. Избыточная масса стояка понижает коэффициент выхода годного. Изготовление индивидуальной оснастки рентабель-

но при значительных партиях заготовок. В некоторых случаях возможно использовать деревянные модели стояков. Восковая модель формируется на деревянную основу методом окунания. Наносят 4–8 слоев воска толщиной 1–2 мм каждый. Восковое покрытие обеспечивает надежный монтаж выплавляемой модели. Подобная оснастка может быть выполнена в ремонтных мастерских большинства литейных цехов. Деревянная основа не испытывает серьезных механических нагрузок. Крепление элементов осуществляется саморезами, или можно вырезать необходимую конфигурацию из цельной заготовки. Чистота поверхности не влияет на качество модели стояка. Единственное условие – наличие уклонов, обеспечивающих выем деревянной оснастки из керамической формы после удаления модельного состава.

Современная российская промышленность требует максимальной оптимизации затрат. Повышение коэффициента использования металла – один из существенных резервов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лапшин А. В. Развитие теории и практического использования пристеночной кристаллизации // Автореф. на соиск. уч. ст. д-р тех. наук. СПб, 1996.
2. Шкленник Я. И., Озеров В. А. Литье по выплавляемым моделям. – М.: Машиностроение, 1984.
3. Кикоин И. К. Таблицы физических величин. – М.: Атомиздат, 1976.
4. Бречко А. А., Емельянов В. О. Получение отливок с развитым рельефом для художественных изделий // Литейное производство. 2000. № 1.

ТКАЧЕНКО Станислав Степанович –

доктор технических наук, профессор, президент Ассоциации литейщиков Санкт-Петербурга и Ленинградской области (ЛенАЛ)

ЕМЕЛЬЯНОВ Вадим Олегович –

кандидат технических наук, заместитель руководителя филиала Российской академии художеств «Творческая мастерская «Литейный Двор» по научно-экспериментальным и научно-исследовательским работам

МАРТЫНОВ Константин Викторович –

кандидат технических наук, заместитель руководителя филиала Российской академии художеств «Творческая мастерская «Литейный Двор» по научно-экспериментальным и научно-исследовательским работам

rosmould

Международная выставка производственных технологий нового поколения

18–20 июня 2019

МВЦ «Крокус Экспо», Москва

От идеи до готового изделия



Дизайн и проектирование изделий



Аддитивные технологии



Формы, пресс-формы и штампы



Сырье и материалы



Оборудование и оснастка

www.rosmould.ru



messe frankfurt

mesago

Messe Frankfurt Group