

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ  
ФИЗИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

УДК 621.74.045.072.2-52

На правах рукописи

КИОРЕАН С. Хорацю Раду (Румыния)

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
ПОЛУЧЕНИЯ ГАЗИФИЦИРУЕМОЙ МОДЕЛИ ИЗ  
ПЕНОПОЛИСТИРОЛА

специальность 05.16.04 - литейное производство

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук



Киев - 1996

621.74

Дв.36.278

Диссертация на правах рукописи

ЛННБ України ім.В.Стефаніка

Работа выполнена в  
и сплавов НАН Укр



00743902 (P)

Научный руководитель:

кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник  
Шинский Олег Иосифович

Научный консультант:

кандидат технических наук,  
Косняну Константин

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор  
Шуляк Валентин Саввович;  
кандидат технических наук  
Примак Иван Никанорович

Ведущая организация - АК "АДВИС"

Защита состоится "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 1996 года в \_\_\_ часов  
на заседании специализированного ученого совета Д 01.97.01  
Физико-технологического института металлов и сплавов НАН  
Украины.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Физико-  
технологического института металлов и сплавов НАН Украины по  
адресу г. Киев, пр. Вернадского 34/1

Автореферат разослан "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 1996 г.

Ученый секретарь специализированного ученого совета Д 01.97.01  
доктор технических наук *Е.Г. Афтандиянц*

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

Актуальность проблемы. Способ литья по газифицируемым моделям (ЛГМ) находит широкое применение при производстве отливок из железоуглеродистых и цветных сплавов в мировой практике литья. В Европе промышленное производство отливок по газифицируемым моделям введено в 100 литейных цехах различных фирм с месячным выпуском 4000 т чугуновых и 2000 т алюминиевых отливок, в т. ч. в Украине - 2000 т/год и начато внедрение этого процесса на двух предприятиях Румынии.

Этот способ находит все более широкое применение благодаря значительному снижению материалоемкости процесса, трудоемкости финишных операций, практически полному устранению стержней, стержневых и формовочных материалов, капитальных затрат и одновременному повышению служебных характеристик отливок, их размерной точности и уменьшению шероховатости, что определяется условиями формирования качества газифицируемых моделей из пенополистирола.

Однако до настоящего времени при исследовании закономерностей формирования качества отливок мало внимания уделяется пенополистироловым моделям. Поэтому имеющиеся данные не позволяют создать универсальных, комплексных методов выбора и оптимизации технологических параметров получения газифицируемых моделей из пенополистирола применительно к серийному и массовому производству отливок. Изучение закономерностей формирования качества пенополистирола и моделей из него в период их вспенивания, спекания, охлаждения и хранения, а также размерной точности, шероховатости и физико-механических свойств, позволит создать математические модели расчета и оптимизации параметров их получения.

Цель работы и задачи исследования. Целью настоящей работы является разработка комплексной методики и оптимизации технологических параметров получения газифицируемых моделей из пенополистирола в серийном и массовом производстве.

Для достижения этих целей в диссертации поставлены и решены следующие задачи:

- исследовано влияние гранулометрического состава, количества порообразователя и технологических параметров на физико-механические свойства газифицируемых моделей из пенополистирола;

- разработаны методики исследования микроструктуры пенополистироловых моделей, их шероховатости, формирования

ДНБ ім. В. Стефаника  
АН України

пористости при нормальной, повышенной температурах и в высокотемпературном газовом потоке;

- созданы математические модели, описывающие процессы вспенивания пенополистирола, получения из него моделей автоклавным методом и методом теплового удара, их охлаждения и вылеживания;

- исследованы закономерности влияния технологических параметров изготовления моделей и влияния пенополистирола на шероховатость и размерную точность газифицируемых моделей;

- на основе созданных математических моделей разработана комплексная методика, номограммы расчета и оптимизации технологических параметров получения газифицируемых моделей автоклавным методом и методом теплового удара;

- установлено влияние гранулометрического состава, термостабилизации вспененного полистирола и термовременных параметров газифицируемой модели на ее пористость при нормальных температурах и в высокотемпературной газовой среде.

Научная новизна. На основании теоретического анализа и натурального эксперимента установлены закономерности формирования качества вспененного полистирола, спекания из него моделей и их охлаждения и установлены математические зависимости, которые позволяют прогнозировать физико-механические свойства газифицируемых моделей.

На основании изучения микроструктуры пенополистирола, натурального эксперимента и физического моделирования процессов его взаимодействия с тепло-холодагентами, участвующими в получении моделей, и взаимодействия с высокотемпературной газовой средой установлены закономерности существования и формирования пористости в газифицируемой модели как фактора стабилизации ее геометрических параметров и управления эвакуацией продуктов ее термодеструкции из формы.

Установлены закономерности влияния технологических параметров, воздействующих на пенополистирол, его гранулометрического состава и содержания в нем порообразователя на формирование качества поверхности и размерную точность газифицируемой модели.

Исследован механизм термостабилизации вспененного полистирола как фактора, оказывающего влияние на физико-механические характеристики газифицируемых моделей.

Практическая значимость. Полученные экспериментальные данные и математические модели влияния основных технологических параметров на качество газифицируемой модели, которые могут быть использованы при

выборе оптимальных технологических параметров подготовки полистирола и изготовления газифицируемых моделей в серийном и массовом производстве.

На основании изучения закономерностей формирования качества поверхности, размерной точности и пористости газифицируемых моделей разработана комплексная методика выбора гранулометрического состава, содержания порообразователя полистирола и оптимизации комплексной методики спекания, охлаждения и выбора технологических параметров получения высококачественных газифицируемых моделей.

Созданные методы выбора и оптимизации технологических параметров позволили разработать ресурсосберегающую технологию получения газифицируемых моделей из пенополистирола, повысить их размерную точность на 2 класса и снизить шероховатость на 3 класса по сравнению с существующей.

На защиту выносятся:

- экспериментальные зависимости физико-механических свойств газифицируемых моделей из пенополистирола от гранулометрического состава, количества порообразователя и технологических параметров;

- математические модели, описывающие процессы вспенивания пенополистирола, изготовления моделей автоклавным методом и методом теплового удара, а также их охлаждения и вылеживания;

- результаты исследования влияния гранулометрического состава, термостабилизации вспененного полистирола и термовременных параметров газифицируемых моделей на их пористость и проницаемость при нормальных температурах и в высокотемпературной газовой среде;

- данные линейной усадки пенополистироловых моделей в зависимости от времени охлаждения, охлаждающей среды, плотности моделей и времени их хранения;

- результаты изучения зависимости шероховатости и размерной точности газифицируемых моделей от процесса термостабилизации вспененного полистирола и технологических параметров;

- методика оптимизации и расчета основных технологических параметров, обеспечивающих получение газифицируемых моделей автоклавным методом и методом теплового удара.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы доложены на научно-технической конференции "Актуальные технологии и перспективы производства подшипников" (г.Брашов, 1994 г.), международной конференции "II-nd Romanian National Metallurgical Conference" (Bucharest, 1995 г.).

Публикации. Материалы диссертационной работы опубликованы в 4 печатных работах.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка использованной литературы из 108 наименований и содержит 165 страниц машинописного текста, 45 рисунков и 30 таблиц.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Методика проведения работ. Для изучения закономерностей формирования качества газифицируемых моделей из пенополистирола были разработаны новые методы исследования с применением натуральных экспериментов и физического моделирования.

Исследовали процессы предварительного вспенивания гранул полистирола, формирования газифицируемых моделей при изготовлении их автоклавным методом и методом теплового удара, а также процессы охлаждения моделей в пресс-формах после их изготовления.

При изучении изменения насыпной плотности полистирола в процессе предварительного вспенивания использовали гранулы исходного полистирола различных фракций - 0,4мм; 0,63мм; 1,0 мм. Время предварительного вспенивания изменяли от 1 до 15 мин.

Насыпная плотность пенополистирола измерялась путем взвешивания определенного объема гранул на аналитических весах с погрешностью  $\pm 0,01$  г.

Процессы формирования газифицируемых моделей в пресс-формах исследовали при варьировании следующих параметров: температуры и давления теплоносителя от 0,12 МПа до 0,18 МПа; фракционного состава пенополистирола от 0,4 мм до 1,0 мм; насыпной плотности гранул от 20 до 35 кг/м<sup>3</sup>; толщины изготавливаемой модели от 8 мм до 18 мм; времени спекания моделей от 25 с до 320 с.

В пресс-формы были помещены хромаль-алюмелиевые термомпары на различную глубину по толщине модели. Показания термомпар автоматически фиксировались прибором АСК, что позволило исследовать температурные поля в процессе спекания и охлаждения моделей при условиях охлаждения в спокойной и проточной воде и на воздухе.

Качество получаемых моделей оценивали, замеряя их размерную точность, чистоту и шероховатость поверхности, плотность и усадку. Кроме того, исследовали микроструктуру полистирола на срезах модели толщиной 10-30 мкм с помощью микроскопа МИМ-8 при увеличении  $\times 65$ ;  $\times 130$  в проходящем свете.

Исследование микроструктуры позволило определить размер ячеек в гранулах и размер границ между гранулами, определить размер пор,

исследовать особенности микроструктуры при различных условиях изготовления моделей.

Пористость и проницаемость газифицируемых моделей исследовали на моделях, полученных из гранул, охлажденных после предварительного вспенивания в воде при  $t=10^{\circ}\text{C}$  и на воздухе при  $t=22^{\circ}\text{C}$ , при этом использовали гранулы плотностью  $\rho=20-30 \text{ кг/м}^3$  и различных фракций ( $\varnothing=0,4 \text{ мм}$ ;  $0,63 \text{ мм}$ ;  $1,0 \text{ мм}$ ). Толщину моделей изменяли от 10 до 50 мм.

На первом этапе для определения значения перепада давления, соответствующего определенной пористости образца, эксперименты проводили на деревянной модели толщиной  $h=10 \text{ мм}$ , поверхность которой на всю глубину перфорировали отверстиями диаметром 1 мм. Изменяя количество отверстий, замерили установившуюся разность давлений. Полученные данные использовали как тарифовочные при исследовании процесса фильтрации пенополистироловых моделей. Изучение характера изменения размеров каналов, расположенных на всю глубину модели, производилось при прохождении через них потока горячего воздуха при различных температурах в зависимости от времени выдержки.

Проницаемость газифицируемых моделей исследовали, измеряя время фильтрации 10 г воды через образцы моделей по направлению от верхней части к нижней путём создания перепада давления  $p_{\text{вх}}=0,1 \text{ МПа}$ .

Исследование влияния характеристик материала и термовременных параметров вспенивания на качество пенополистирола. Вспенивание гранул продолжается и в стационарном режиме, таким образом их объем достигает увеличения в несколько десятков раз, но во столько же раз будет уменьшаться их плотность. Анализ этих данных показывает, что коэффициент вспенивания  $K_{\text{в}}$ , который определяется как отношение объема вспененных гранул  $V_{\text{вп}}$  к их исходному объему  $V_0$ , зависит от исходного диаметра гранул и содержания в них изопентана в начале процесса подвспенивания (чем меньше диаметр гранул полистирола, тем меньше время их вспенивания). Тот факт, что  $K_{\text{в}}$  стремится достигнуть для каждого типа гранул одной и той же предельной величины, обуславливается равным исходным процентом изопентана в каждой грануле. Таким образом, максимальная величина  $K_{\text{в}}$  зависит от процентного содержания изопентана в полистироле и не зависит от диаметра гранул.

Возрастание температуры теплоносителя приводит к увеличению давления изопентана на внутренние стенки гранулы и усиливает процесс его выхода из гранулы. Количество изопентана, выходящего из

полистирола в процессе вспенивания, больше у гранул с меньшим диаметром, его можно определить с помощью следующей функции:

$$M_i = f(d_0, \tau), \quad (1)$$

которая представлена графически на рис.1.

Математическая обработка данных, представленных на рис.2, позволяет установить зависимость  $M_i = f(d_0, \tau)$ , которая имеет следующий вид:

$$M_i = 6 - 26 \cdot 10^3 \cdot \tau + 9,51 \cdot 10^5 \cdot \tau^2 - 15,98 \cdot 10^8 \cdot \tau^3 + 9,77 \cdot 10^{11} \cdot \tau^4, \quad (2)$$

$$M_i = 6 - 13,9 \cdot 10^3 \cdot \tau + 2,58 \cdot 10^5 \cdot \tau^2 - 1,81 \cdot 10^8 \cdot \tau^3, \quad (3)$$

$$M_i = 6 - 6,85 \cdot 10^3 \cdot \tau + 0,36 \cdot 10^5 \cdot \tau^2. \quad (4)$$

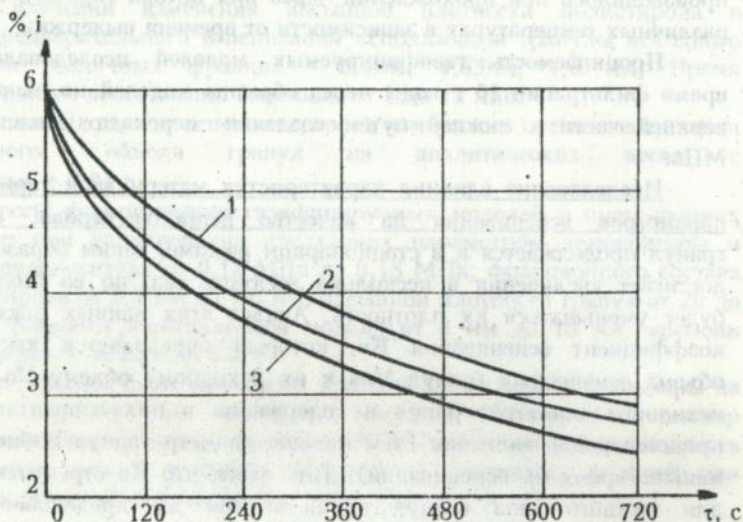


Рис.1. Зависимость остаточного содержания изопентана от времени вспенивания для различных фракций полистирола: 1 -  $\text{Ø}_1=0,4$  мм; 2 -  $\text{Ø}_2=0,63$  мм; 3 -  $\text{Ø}_3=1,0$  мм.

Исследование влияния технологических параметров на качество моделей из пенополистирола. С помощью изучения протекания процесса спекания температурного поля пенополистироловых моделей, полученных как автоклавным методом, так и методом теплового удара, было установлено влияние термодинамических факторов на кинетику этого процесса (рис. 2).

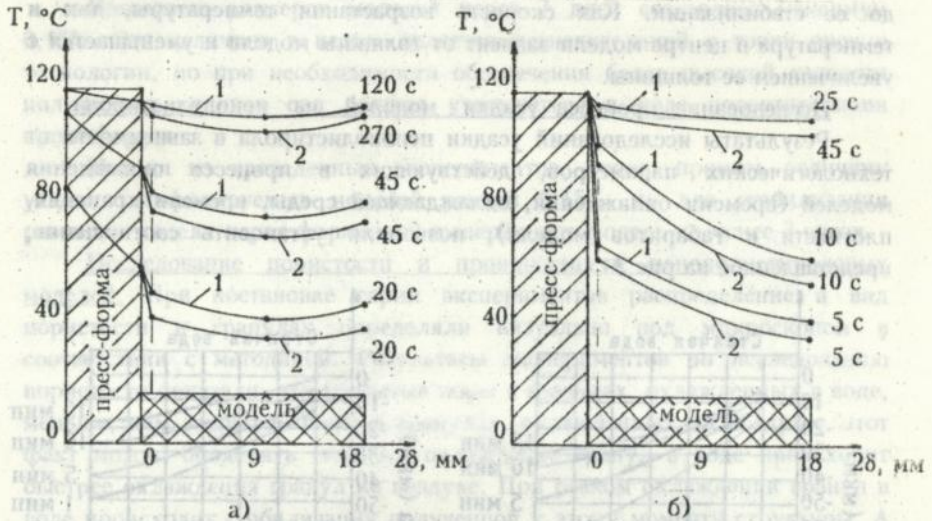


Рис. 2. Изменение температурного поля газифицируемых моделей при изготовлении их автоклавным методом (а) и методом теплового удара (б)

Для моделей одинаковой толщины и плотности увеличение давления сокращает время начала и конца процесса спекания. Было отмечено, что после процесса нагревания, происходящего в разные отрезки времени, при различном давлении, температура в центре модели устанавливается постоянной для моделей определенной плотности и толщины независимо от давления.

Плотность гранул является фактором, оказывающим наиболее сильное влияние на изменение температурного поля, образующегося в модели в течении процесса спекания. Из экспериментов видно, что изменение температуры в центре двух моделей очень значительное, когда эти модели имеют одинаковую толщину и подвергаются одинаковому давлению теплоносителя, но плотность их различна. Чем больше плотность гранул пенополистирола, тем труднее проникает в них

теплоноситель, это объясняется тем, что плотность гранул изменяется обратно пропорционально коэффициенту теплопроводности.

При изучении изменения температуры в центральном слое, в зависимости от времени, при плотности гранул  $24 \text{ кг/м}^3$  и давлении пара  $0,14 \text{ МПа}$ , для моделей толщиной 8 и 18 мм было замечено, что температура в центральном слое каждой модели изменялась неодинаково до ее стабилизации. Как скорость возрастания температуры, так и температура в центре модели зависит от толщины модели и уменьшается с увеличением ее толщины.

#### Исследование процесса усадки моделей из пенополистирола.

Результаты исследований усадки пенополистирола в зависимости от технологических параметров, действующих в процессе охлаждения моделей (времени охлаждения, охлаждающей среды, времени хранения, плотности и габаритов модели), позволили установить соотношение, представленное на рис.3

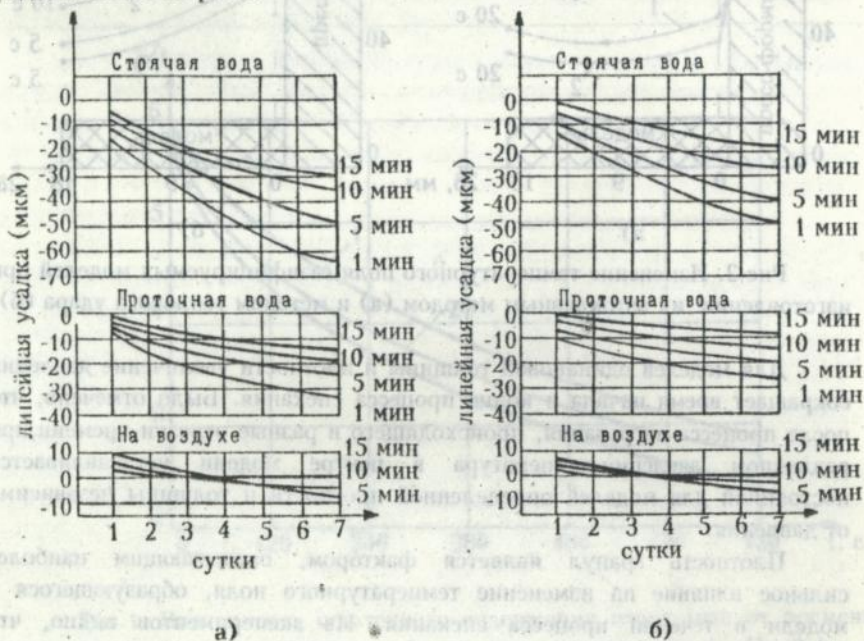


Рис.3. Изменение усадки пенополистироловой модели плотностью  $20 \text{ кг/м}^3$  (а) и  $30 \text{ кг/м}^3$  (б), в зависимости от среды и времени охлаждения.

Из графиков, представленных на рис.3, видно, что при охлаждении в проточной воде усадка в два раза меньше, чем в стоячей воде и в два раза больше, чем на воздухе. Также было отмечено, что при охлаждении в стоячей или проточной воде наименьшая усадка модели имеет место при охлаждении пресс-формы в течении 15 минут, при этом чем меньше плотность модели, тем значительнее ее усадка.

Изменение размеров моделей через 7 дней составляет максимум 0,15%. Эта величина в целом является незначительной с точки зрения технологии, но при необходимости обеспечения более высокой точности получаемых отливок она должна учитываться в ходе проектирования пресс-формы.

Исходя из проведенных экспериментов, можно принять величину усадки газифицируемых моделей равной 0,15%, но для стабилизации размеров модели перед формовкой выдерживать модель не менее 3 суток.

Исследование пористости и проницаемости пенополистироловых моделей. При постановке серии экспериментов распределение и вид пористости в гранулах определяли визуально под микроскопом в соответствии с методикой. Результаты экспериментов по исследованию пористости показали, что закрытые поры в гранулах, охлажденных в воде, меньше, чем закрытые поры в гранулах, охлажденных на воздухе. Этот факт можно объяснить тем, что охлаждение гранул в воде происходит быстрее охлаждения гранул на воздухе. При резком охлаждении гранул в воде происходит стабилизация полученной к этому моменту структуры. А при охлаждении на воздухе в первый момент происходит некоторый рост ячеек пенополистирола до тех пор, пока температура в центральной части гранул не опустится ниже 28 °С (температура, при которой изопентан переходит из газовой фазы в жидкую).

Исследования микроструктуры пенополистирола подтвердили, что поры модели, полученной с использованием гранул, охлажденных в воде, больше, чем поры модели, полученной из гранул, охлажденных на воздухе. Это объясняется тем, что благодаря более быстрому охлаждению в воде гранул пенополистирола они теряют меньшее количество изопентана, чем те, которые охлаждались на воздухе и, следовательно, поры гранул, охлажденных в воде, будут увеличиваться в размерах сильнее.

Проведенные эксперименты позволили установить, что увеличение толщины газифицируемых моделей, а следовательно, и увеличение их усадки в объеме, предполагает большую разницу давлений воздуха ( $p_{вх} - p_{вых}$ ), а значит, падение пористости модели и уменьшение проницаемости

моделей. Та же зависимость сохраняется при повышении плотности модели и уменьшении гранулометрического состава пенополистирола.

Изучение изменения размеров и формы каналов, образующихся в модели в процессе фильтрации воздуха при различных температурах в зависимости от времени контакта горячего воздуха с моделью, показало, что при контакте моделей, имеющих поры, с потоком горячего воздуха происходит увеличение диаметра пор по всей их длине. При этом увеличивается суммарная площадь сечения пор. Эта закономерность сохраняется для моделей, изготовленных из гранул различных фракций. Данные, полученные на базе этих экспериментов, представлены на рис. 4.

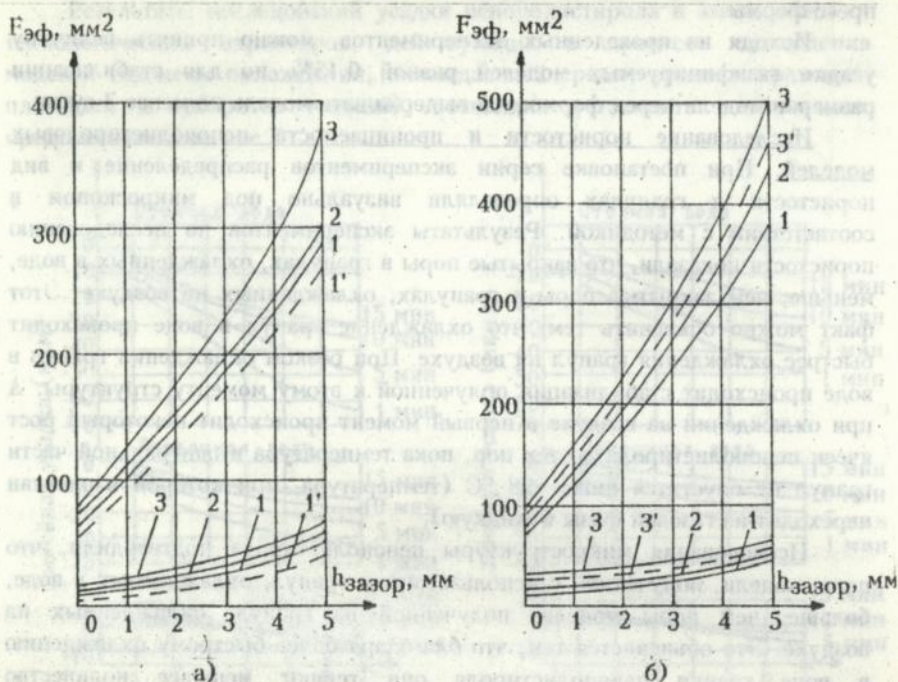


Рис. 4. Влияние фракционного состава, толщины моделей и температуры парогазовой фазы на эффективную газопроницаемость пенополистироловых моделей (для фракций: 1 -  $\text{Ø}=0,4$  мм; 2 -  $\text{Ø}=0,63$  мм; 3 -  $\text{Ø}=1,0$  мм; толщина модели 10 мм - цифры без штриха, толщина модели 50 мм - со штрихом; температуры: а -  $150^\circ\text{C}$  и б -  $200^\circ\text{C}$ ).

Определение эффективной проницаемости газифицируемых моделей производится с помощью уравнения:

$$F_{эф} = \varphi_f \varphi_{пн} (1 + \varphi) F_6, \quad (5)$$

где:  $\varphi_f$  - коэффициент сопротивления (0.4);

$\varphi_{пн}$  - коэффициент противогригного покрытия (0.1-0.8);

$\varphi = F_{пн} / F_6$ ;

$F_{пн}$  - площадь пор, мм<sup>2</sup>;

$F_6$  - площадь фильтрации металл - модель, мм<sup>2</sup>.

Исследование шероховатости и точности пенополистироловых моделей. Качество поверхности отливок зависит главным образом от качества поверхности газифицируемых моделей, основным показателем которого является шероховатость. Шероховатость моделей изучали на срезах тонких слоев поверхности модели под микроскопом при увеличении  $\times 65$ ,  $\times 130$ .

Результаты показали, что шероховатость зависит от плотности и гранулометрического состава модели, при этом процентное отношение каждого класса шероховатости для каждого типа модели привели к уравнению типа Гаусса (непрерывное распределение вероятностей). Результаты экспериментов представлены на рис. 5-а.

Точность размеров газифицируемых моделей определяется устойчивостью размеров (усадка или расширение моделей после вспенивания). Исследования, проведенные с целью определения условий, обеспечивающих получение наиболее высокой точности размеров моделей, показали, что особое влияние на точность оказывают плотность и размеры моделей. Изменения размеров образцов, с точки зрения абсолютных значений, были как отрицательными (усадка), так и положительными (расширение).

Так как точность изготовления отливок соответствует точности изготовления моделей, было проведено определение класса точности моделей на соответствие ГОСТу 26645-85. Результаты исследований представлены на рис. 5-б.

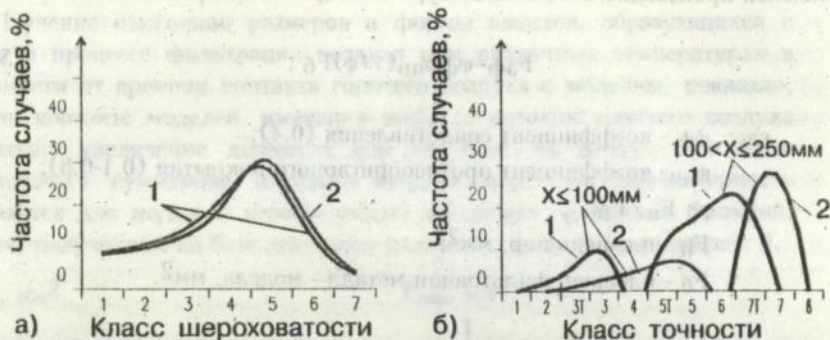


Рис.5 Влияние плотности на шероховатость поверхности (а) и на размерную точность (б) модели из пенополистирола.

1 -  $\rho=20 \text{ кг/м}^3$ ; 2 -  $\rho=30 \text{ кг/м}^3$ ;  $x$ -нормальный размер модели

Методика расчета оптимизации времени процесса изготовления моделей. На основании исследований технологических факторов, действующих в процессах вспенивания, спекания (автоклавным методом и методом теплового удара) и охлаждения в целях получения высококачественных моделей из пенополистирола были определены уравнения регрессии, которые позволили получить номограммы, представленные схематически на рис. 6-а,б,в,г.

Методика расчета и оптимизации времени предварительного вспенивания полистирола. Для определения оптимального времени подвспенивания пенополистироловых гранул рекомендуется следующая последовательность этапов:

- в зависимости от допустимых минимальной и максимальной плотностей высчитываются коэффициенты вспенивания  $K_{в1,2}$  с помощью формул:

$$K_{в1} = \frac{\rho_0}{\rho_{\max}}, \quad (6)$$

$$K_{в2} = \frac{\rho_0}{\rho_{\min}}, \quad (7)$$

где  $\rho_0$  - плотность исходных гранул;  $\rho_{\max}$ ,  $\rho_{\min}$  - максимальная и минимальная плотности гранул после вспенивания;

- в зависимости от этих коэффициентов по графику (рис.6-а) определяется временной отрезок процесса подвспенивания ( $\tau_1, \tau_2$ ) с учетом используемого гранулометрического состава;

- в зависимости от того, какое требуется содержание изопентана в конце процесса подвспенивания, определяется временной отрезок ( $\tau_3, \tau_4$ ), необходимый для достижения требуемых условий;

- оптимальное время процесса подвспенивания определяется на пересечении полей оптимальной плотности и требуемого остаточного содержания изопентана.

Методика расчета и оптимизации параметров спекания при автоклавном методе. Исходя из экспериментальных данных, было определено уравнение регрессии оптимального времени спекания модели в зависимости от ее плотности, толщины и давления пара, при котором наблюдается спекание.

Оно имеет вид:

$$\tau = -17 + 14 \cdot 2\delta + 8,333\rho - 750\rho, \quad (8)$$

где:  $2\delta$  - толщина модели, мм;

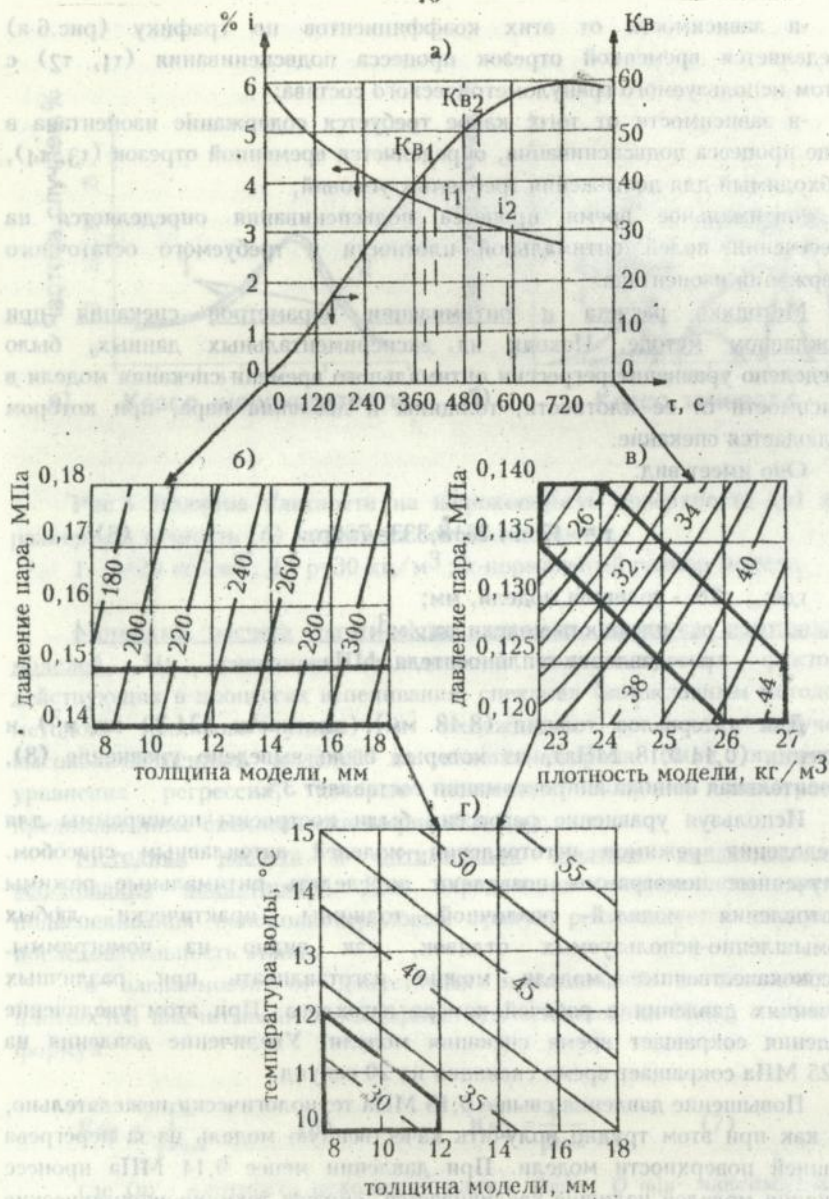
$\rho$  - плотность модели, кг/м<sup>3</sup>;

$p$  - давление теплоносителя, МПа.

Для интервалов толщин (8-18 мм), плотности (24-30 кг/м<sup>3</sup>) и давления (0,14-0,18 МПа), из которых было выведено уравнение (8), относительная ошибка аппроксимации составляет 3%.

Используя уравнение регрессии были построены номограммы для определения режимов изготовления моделей автоклавным способом. Полученные номограммы позволяют определять оптимальные режимы изготовления моделей различной толщины, практически любых промышленно-используемых отливок, как видно из номограммы. Высококачественные модели можно изготавливать при различных значениях давления в рабочей камере автоклава. При этом увеличение давления сокращает время спекания модели. Увеличение давления на 0,025 МПа сокращает время спекания на 20 секунд.

Повышение давления свыше 0,18 МПа технологически нежелательно, так как при этом трудно получить качественную модель из-за перегрева внешней поверхности модели. При давлении менее 0,14 МПа процесс спекания моделей излишне увеличивается, снижая технико-экономические показатели.



Оптимальный интервал рабочего давления в автоклаве находится в пределах 0,14-0,15 МПа (рис.6-6).

Проведенные исследования позволили получить номограммы для практического определения технологических режимов изготовления моделей автоклавным методом. Полученные результаты могут быть использованы практически для широкой номенклатуры отливок, получаемых в мелкосерийном и серийном производстве.

Методика расчета и оптимизации параметров спекания при методе теплового удара. Исходя из данных, которые были получены в ходе экспериментов, определили уравнение регрессии оптимального времени вспенивания модели в зависимости от ее плотности и давления, при котором происходит вспенивание.

Уравнение имеет вид:

$$\tau = 412 - 12,47\rho - 3619p + 124,8\rho \cdot p, \quad (9)$$

где:  $\rho$  - плотность гранул, кг/м<sup>3</sup>;  
 $p$  - давление теплоносителя, МПа.

Оптимальная ошибка аппроксимации составляет 5%.

Была проведена серия экспериментов по определению режимов изготовления пенополистироловых моделей методом теплового удара и влияния теплофизических факторов, действующих в процессе спекания.

Проведенное исследование позволило определить уравнение регрессии, которое было использовано в дальнейшем для получения номограмм для выбора оптимального времени спекания модели при тепловом ударе (рис.6-в).

Использование метода теплового удара для изготовления моделей на порядок сокращает время их спекания. Отмечается тот факт, что при изготовлении моделей меньшей плотности увеличивается число возможных вариантов режимов их изготовления. С технико-экономической точки зрения целесообразно выбирать режимы с минимальным временем спекания. Оптимальное время спекания моделей на номограмме представляет поле, выделенное толстым контуром.

Методика расчета и оптимизации параметров охлаждения модели. На основании данных, полученных в результате проведенных экспериментов, стало возможным определить уравнение регрессии оптимального времени охлаждения модели в зависимости от ее толщины и плотности, а также температуры охлаждающей проточной воды в бассейне.

Уравнение имеет вид:

$$\tau = -127 + 4,168 \cdot \rho + 1,499 \cdot 2\delta + 4,0001T \quad (10)$$

где:  $\rho$  - плотность гранул, кг/м<sup>3</sup>;  
 $2\delta$  - толщина модели, мм;  
 $T$  - температура воды в бассейне, °С,

Относительная ошибка аппроксимации составляет 4%.

Исходя из уравнения регрессии, были построены номограммы для определения охлаждения моделей в пресс-форме (рис. 6-д). Из этих номограмм видно; что для модели определенной толщины и плотности окончательное время ее охлаждения возрастает каждый раз на 4 секунды при увеличении температуры воды на каждый 1 °С. При увеличении толщины модели на 1 мм время ее охлаждения возрастает на 1,5 секунды, а увеличение плотности модели на 1 кг/м<sup>3</sup> ведет к возрастанию времени охлаждения на 2,5 секунды. Наиболее оптимальный режим охлаждения моделей находится в пределах 10 - 12 °С, т.е. в пределах температуры окружающей воды (рис. 6-д).

#### ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ.

При выполнении работы получены следующие результаты:

1) Установлены закономерности и получены математические зависимости влияния исходного содержания изопентана и диаметра гранул пенополистирола на величину коэффициента вспенивания  $K_v$ , как фактора, предопределяющего качество вспененного полистирола.

2) Разработаны методики исследования микроструктуры, пористости пенополистироловых моделей с использованием натуральных экспериментов и физических методов моделирования.

3) Определено влияние хладагента (вода  $T \leq 10^\circ\text{C}$ ) на стабилизацию геометрических размеров, возникновение и формирование пористости в предварительно вспененном полистироле, как фактора, предопределяющего стабильность размеров и рост площади фильтрации парогазовых продуктов, образующихся при ее термодеструкции.

4) Установлено, что применение термостабилизации предварительно вспененного полистирола для получения газифицируемых моделей позволяет снизить их линейную усадку с 0,25% до 0,15%. шероховатость на 2-3 класса в сравнении с аналогичными характеристиками моделей,

полученных из предварительно вспененного полистирола, охлажденного на воздухе (традиционно).

5) Термостабилизация пенополистирола в процессе его охлаждения замедляет процесс миграции из него изопентана в период вылеживания, что снижет потери последнего и повышает активность пенополистирола в период спекания модели, как фактора, определяющего служебные характеристики пенополистироловых моделей.

6) На основании полученных уравнений регрессии, описывающих процесс спекания пенополистирола при методах теплового удара и автоклавным способом установлено, что наибольшее влияние на время спекания оказывает давление (температура) теплоносителя, плотность пенополистирола, причем время спекания модели при методе теплового удара меньше в 8-15 раз, чем при автоклавиом.

7) Время охлаждения газифицируемых моделей в пресс-форме зависит от ее плотности, температуры хладагента (воды), плотности пенополистирола, при этом температура модели при извлечении на 9-16°C выше температуры хладагента, а выравнивание температур по ее сечением происходит не более чем за 30 секунд после ее извлечения из пресс-формы и в дальнейшем не изменяется.

8) Применение технологии термостабилизации вспененного пенополистирола и созданных методов оптимизации технологических параметров позволяет получить газифицируемые модели в серийном и массовом производстве моделей и отливок с размерной точностью (таб.1) и шероховатостью (таб.2), соответствующим 2 и 3 классам соответственно.

9) На основании созданных математических моделей, описывающих процесс изготовления пенополистироловых моделей, разработаны инженерные методы расчета и оптимизации технологических параметров газифицируемых моделей из пенополистирола с применением автоклавного метода и метода теплового удара.

10) На основании разработанных методом оптимизации определены режимы изготовления газифицируемых моделей из пенополистирола для освоения производства коленчатых валов из высокопрочного чугуна на заводе "АЛФОР" (Румыния). Это позволило снизить себестоимость одного изделия на 0,24 долл. США по сравнению с ранее применяемой технологией и достичь годового экономического эффекта в размере 43200 долл. США.

Таблица 1

## Размерная точность модели и отливки

Технологический процесс литья	Наибольший размер модели и отливок мм	Класс размерной точности модели (X) и отливки (O)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ЛГМ (Опт.)	до 100		X	X	X	⊗	○	○	○				
	100-250				X	⊗	⊗	⊗	○	○			
ЛГМ (ГОСТ)*	до 100				X	X	X	⊗	○	○	○	○	
	100-250						X	⊗	⊗	⊗	⊗	○	○
Литье по выплавляемым моделям*	до 100					○	○	○	○	○			
	100-250						○	○	○	○	○		
Литье в формы из ЖСС*	до 100							○	○	○	○		
	100-250								○	○	○	○	○
Литье в облицованный кокиль*	до 100							○	○	○	○	○	
	100-250								○	○	○	○	○

\* - ГОСТ 26645-85

Таблица 2

## Шероховатость моделей и отливок

	Класс шероховатости													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Модель ГМ- (Опт.)				X	X	X	X							
Модель ГМ- (ГОСТ)*							X	X	X	X				
Отливка ЛГМ- (Опт.)						○	○	○	○	○				
Отливка ЛГМ- (ГОСТ)*									○	○	○	○	○	

\* - ГОСТ 26645-85



## АНОТАЦІЯ

Киореан Х. "Оптимізація технологічних параметрів отримання моделей з пінополістиролу, що газифікуються".

Захищається робота, в якій представлено в удосконаленому вигляді фізико-математичну модель виготовлення пінополістиролових моделей. Для отримання пінополістиролових моделей високої якості та зниження енергозатрат вивчалися зміни теплофізичних параметрів, задіяних в процесі спінення гранул, спікання та охолодження моделей, що дозволило, таким чином, визначити оптимальний інтервал, в якому можуть змінюватись ці параметри. Нова технологія виготовлення моделей, що газифікуються, має ряд переваг у порівнянні з сучасною робочою технологією, а саме: при отриманні підспінених гранул вміст ізопентану в них менший, моделі мають більшу пористість і меншу шорсткість, кращу розмірну точність.

Ключові слова: пінополістирол, гранула, модель, спінування, спікання, охолодження, пористість.

## RESUME

Chiorean H.R. "Optimization of technologic parameters of polystyrene evaporative pattern production (PPP)".

4 scientific works are submitted having the results of the improved physico-mathematical model of PPP. In order to obtain high quality of polystyrene patterns and to reduce energetics consumption the variation of thermophysical parameters participating in processes of granules foaming, patterns baking and cooling have been studied. Which allowed the determination of optimal interval in which these parameters can change. The new technology of evaporative patterns production has permitted a number of advantages when comparing to actual work technology, namely the content of isopentane in preliminary foamed granules has been reduced, the porosity of pattern has been increased, both the dimensional patterns precision and roughness of patterns have been improved.

Key words: foamed polystyrene, granule, pattern, foaming, baking, cooling, porosity.

Підл. до друку 22.11.96

Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Папір друк. № 2. Спосіб друку офсетний. Умовн. друк. арк. 1,0.

Умовн. фарбо-відб. 1,0. Обл.-вид. арк. 1,0.

Тираж 100. Зам. № 6-4020.

Фірма «ВІПОЛ»

252151, Київ, вул. Волинська, 60.

From

AB 36.278