

## Влияние физико-технологических и механических свойств пенополистироловой модели на размерную точность и шероховатость отливок

Экспериментально определена размерная точность литья по газифицируемым моделям, а также шероховатость поверхности пенополистироловых моделей и стальных отливок.

**Ключевые слова:** пенополистироловая модель, шероховатость, размерная точность, плотность модели

Одним из современных методов производства отливок высокой точности и низкой шероховатости является способ литья по газифицируемым моделям, разновидности которого созданы в Физико-технологическом институте металлов и сплавов НАН Украины [1-4]. Преимущества таких отливок, в первую очередь, определяются использованием высокоточной пенополистироловой модели взамен традиционным деревянным и металлическим моделям, используемым при литье в землю, так как: устраняются операции изготовления стержней и сборки формы; отсутствует разъем в форме; происходит виброуплотнение песка с последующим его доуплотнением (за счет создания в форме разряжения и снятия его непосредственно после кристаллизации сплава).

Вместе с тем столь важное преимущество этого метода недостаточно изучено и сдерживает применение его в промышленности как точного метода литья.

Цель работы – оценка размерной точности отливок, полученных по газифицируемым моделям в вакуумируемых формах, для чего разработали специальную методику с использованием методов математического планирования эксперимента типа  $2^k$ , позволяющую определить линейную точность элементов отливки с размерами 15-500 мм при варьировании основными характеристиками модели и формы (таблица).

В сериях экспериментов химический состав исследуемого сплава соответствовал стали Ст35Л

ГОСТ 977-88, а разряжение в форме варьировалось на двух уровнях: -0,02 и -0,08 МПа.

В результате математической обработки выборки, которая составляла 192 измерения объектов, получили соответствующие уравнения регрессии (1), (2), с помощью которых можно установить интервал отклонений линейных размеров стальных отливок от их номинала (15-500 мм). Благодаря этому появилась возможность вычислить размерную точность литья по газифицируемым моделям и сравнить ее с данными ГОСТ 26645-85 [2]:

– при разряжении в форме  $P_b = -0,02$  МПа

$$y = 0,285 - 0,07X_1 - 0,04X_2 + 0,12X_3 + 0,01X_4 - 0,05X_5; \quad (1)$$

– при разряжении в форме  $P_b = -0,08$  МПа

$$y = 0,22 - 0,07X_1 - 0,04X_2 + 0,13X_3 + 0,02X_4. \quad (2)$$

Анализ графической интерпретации данных полученных с использованием уравнений (1), (2) (рис. 1), дает возможность определить влияние основных параметров литья на размерную точность отливок. Так, к примеру, увеличение избыточного давления в форме от -0,02 до -0,08 МПа исключает влияние плотности песка, на что указывает отсутствие в уравнении (2) слагаемого  $X_5$ , вследствие чего снижается максимальное отклонение от номинальных размеров с 0,57 до 0,45 мм (рис. 1, кр. 1), то есть на 0,12 мм (или 25 %). Это явление предопределяется доуплотнением песка в форме за счет создания в нем высокого уровня разряжения (-0,08 МПа).

### Матрица планирования экспериментов по оценке размерной точности отливок из сплава Ст35Л ГОСТ977-88, полученных литьем по газифицируемым моделям

Код	Наименование и размерность параметра	Уровень границ варьирования параметрами			Интервал варьирования
		минимальный (-1)	средний (0)	максимальный (+)	
$X_1$	Плотность пенополистироловой модели, кг/м <sup>3</sup>	20,0	30,0	40,0	10,0
$X_2$	Толщина стенки отливки, мм	5,0	20,0	35,0	15,0
$X_3$	Номинальный размер, мм: – элементов в отливке	15,0	57,5	100,0	42,5
$X_4$	– отливки	200,0	350,0	500,0	150,0
$X_5$	Плотность песка в форме, кг/м <sup>3</sup>	1500,0	1650,0	1800,0	150,0

Существенное влияние на размерную точность отливок, полученных в вакуумируемых формах, оказывает плотность пенополистироловой модели как фактора ее прочности и жесткости в период формовки и транспортировки блоков моделей. Так, согласно данным (рис. 1), при увеличении плотности модели до  $40 \text{ кг/м}^3$  отклонение от номинальных размеров в пределах 15-500 мм снижается с 0,36-0,38 мм до 0,22-0,24, то есть на 0,14 мм, или 25 % (рис. 1, кр. 1-3).

Толщина моделей (отливок) как фактор ее прочности и жесткости в период формовки и транспортировки блоков моделей является важным фактором в повышении размерной точности отливок при ЛГМ, что дает возможность снизить допуск на размеры отливок на 0,04-0,08 мм (15-20 %). Увеличение размеров отливок на их допуски в пределах одной плотности пенополистироловой модели не существенно влияют на эти характеристики и могут отличаться между собой на 0,04 мм, или на 5-10 % (рис. 1, кр. 1).

Следует отметить, что варьированием плотностью модели, ее толщиной и разряжением в форме можно достичь снижения допуска на размеры в отливках в пределах исследуемого размерного интервала (15-500 мм). При расчете этого показателя с использованием уравнений регрессии (1), (2) эти границы допусков составляют 0,03-0,20 мм. В этом случае важно было определить качества допусков на размеры отливок в пределах 15-1000 мм в сравнении с допусками на отливки равных размеров по ГОСТу 26645-85.

Согласно расчетным данным по уравнениям (1), (2) и рис. 1, допуски на размеры (мм) могут составлять для диапазонов 16-25; 40-63; 160-250; 250-400; 630-1000:  $\pm(0,03-0,05)$ ;  $\pm(0,06-0,10)$ ;  $\pm(0,22-0,36)$ ;  $\pm(0,34-0,36)$ ;  $\pm(0,28-0,45)$  соответственно.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что размерная точность стальных отливок, полученных по газифицируемым моделям (согласно анализу), находится в поле допусков качеств 3-5 (ГОСТ 26645-85) против 7-10 при литье в песчаные формы, в том числе на основе ХТС.

Влияние пенополистироловой модели на шероховатость поверхности и размерную точность отливок, полученных литьем по газифицируемым моделям в крупносерийном и массовом производстве, также является немаловажным. В связи с этим авторы многократно исследовали шероховатость поверхности отливок из железоуглеродистых и цветных сплавов, полученных по газифицируемым моделям, с выборкой для

каждого случая, превышающего 30%-ную частоту.

Благодаря анализу шероховатости поверхности стальных отливок (Ст25Л-Ст35Л, ГОСТ977-88) с толщиной стенок 5-20 мм (рис. 2) установлено, что шероховатость поверхности ГМ при использовании пенополистирола с плотностью 20-30  $\text{кг/м}^3$  находится в пределах (свыше 60 % случаев) 4-10 мкм (рис. 2, а-е). Причем наименьшая шероховатость поверхности была у моделей, изготовленных из исходного полистирола с диаметром гранул в 1 мм, то есть 4-5 мкм (рис. 2, а, з), а наибольшая – у моделей, изготовленных из полистирола с начальным диаметром гранул 0,4 мм, то есть 5-10 мкм (рис. 2, в, е).

Следует отметить, что шероховатость поверхности стальных отливок влияет на характер изменения аналогичного показателя для моделей, она на 1-2 качества выше.

Минимальные значения шероховатости поверхности стальных отливок, модели которых изготовлены из вспененного полистирола с исходным диаметром гранул 1 мм, находится в пределах 5-8 мкм (рис. 2, а, з), а максимальные – наблюдаются при использовании исходной гранулы полистирола в 0,4 мм и составляют 8-12 мкм (рис. 2, в, е).

Существенного влияния плотности полистирола (модели) в пределах ее изменения от 20 до 30  $\text{кг/м}^3$  в данной серии экспериментов не установлено.

Изменение шероховатости поверхности моделей (отливок) связано со степенью потери порообразователя во вспененном полистироле, так как он предопределяет степень этого вспенивания в пресс-

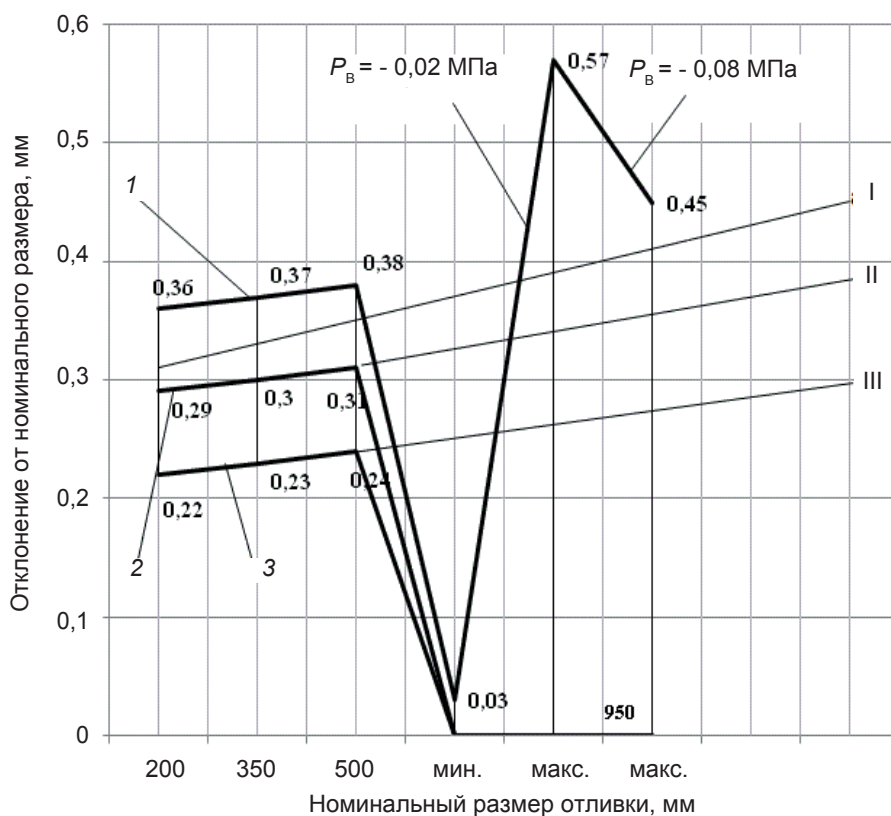
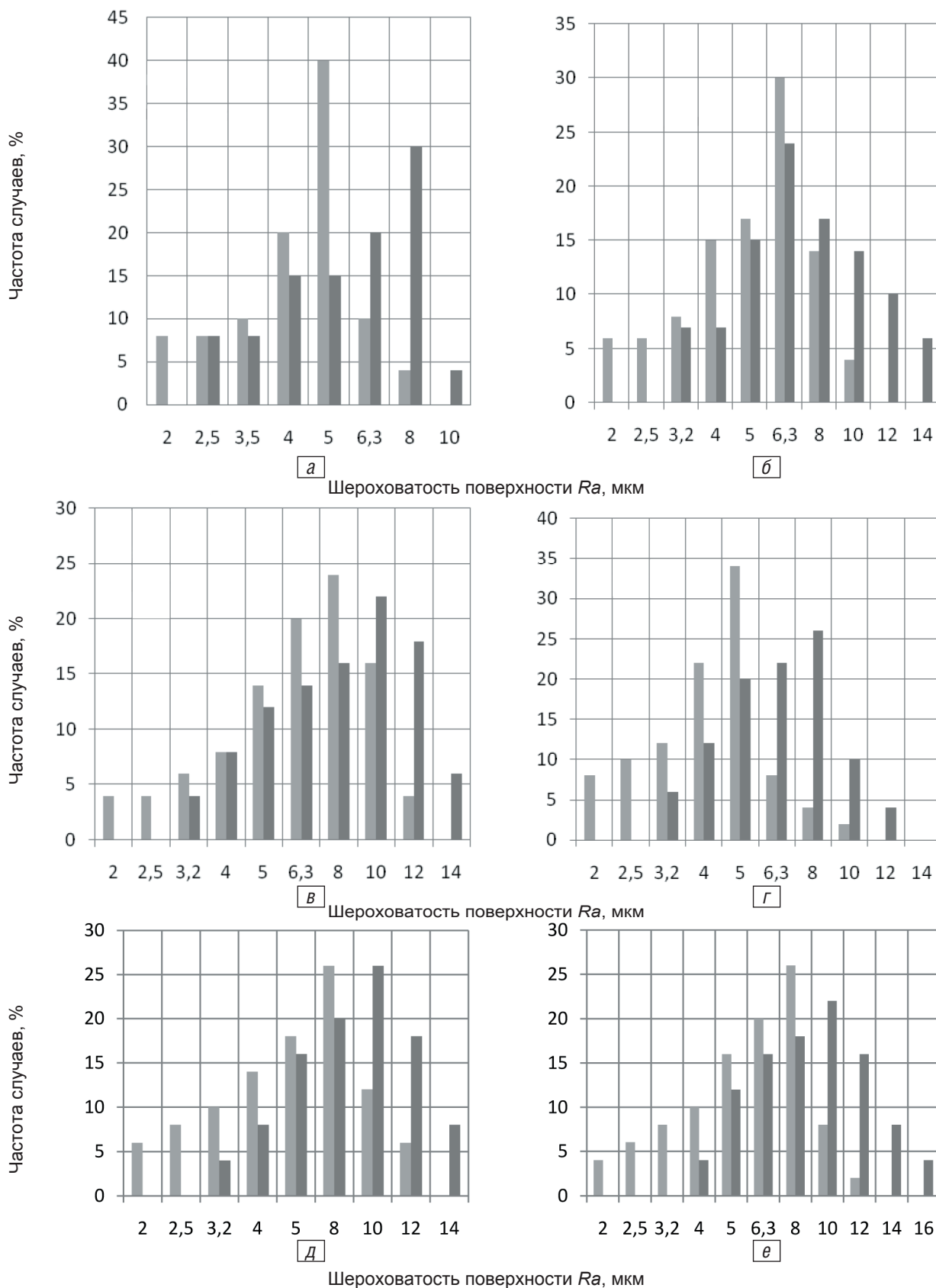


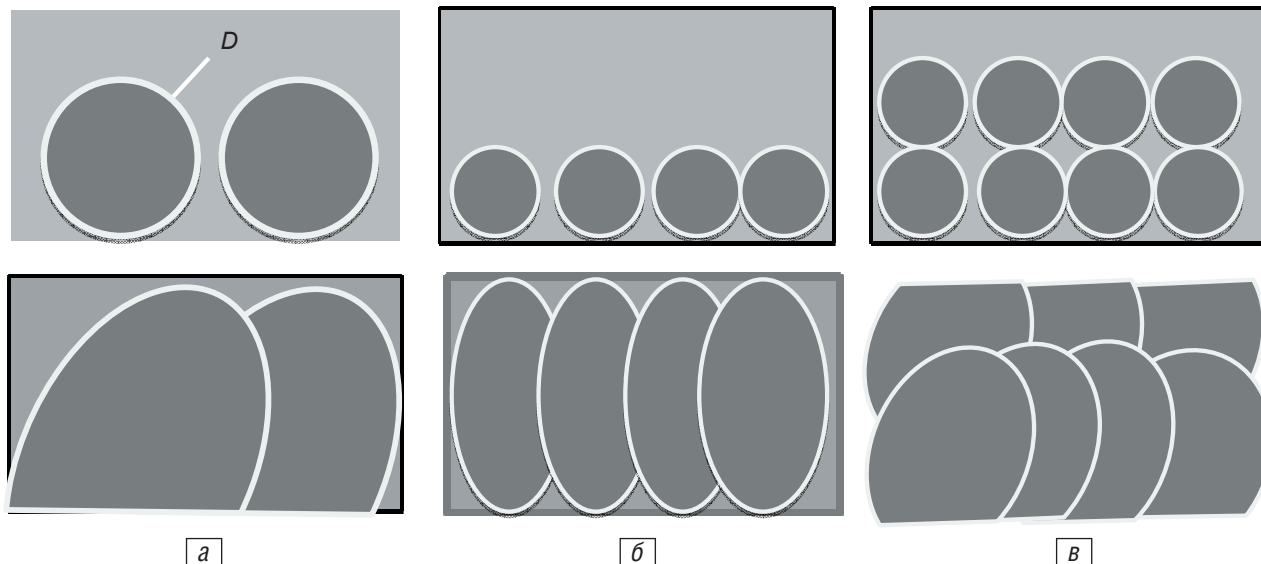
Рис. 1. Среднее отклонение от номинального размера стальных отливок при литье по газифицируемым моделям: 1, 2, 3 – плотность модели,  $\text{кг/м}^3$ , 1 – 20; 2 – 30; 3 – 40; I-III – средневзвешенные значения модели

форме и отвечает за размерную точность и шероховатость поверхности изделий. Остаточное содержание порообразователя во вспененном полистироле обратно пропорционально кратности вспенивания

его исходных гранул. В конечном виде эту гипотезу можно представить как соотношение диаметров исходных гранул при условии, что конечный размер (диаметр) вспененных гранул для равных толщин



**Рис. 2.** Влияние диаметра ( $d$ ) исходного полистирола и его плотности ( $\rho$ ) после предварительного вспенивания на шероховатость поверхности моделей и отливок:  $\rho = 20 \text{ кг/м}^3$ ,  $d = 1 \text{ мм}$  (а);  $\rho = 20 \text{ кг/м}^3$ ,  $d = 0,63 \text{ мм}$  (б);  $\rho = 20 \text{ кг/м}^3$ ,  $d = 0,4 \text{ мм}$  (в);  $\rho = 30 \text{ кг/м}^3$ ,  $d = 1 \text{ мм}$  (г);  $\rho = 30 \text{ кг/м}^3$ ,  $d = 0,63 \text{ мм}$  (д);  $\rho = 30 \text{ кг/м}^3$ ,  $d = 0,4 \text{ мм}$  (е); ■ – модель; ■ – отливка



**Рис. 3.** Влияние диаметра и размещения вспененных гранул пенополистирола в пресс-форме на шероховатость поверхности литейных моделей:  $D > 1/2 R$  (а);  $D < 1/2 R$  (б);  $2D > 2/3 R$  (в)

стенки модели является величиной постоянной, и тогда:

$$D_1^3 : D_2^3 : D_3^3 \dots : D_n^3. \quad (3)$$

Исходя из соотношения (3) можно установить относительные потери содержания порообразователя в данной серии экспериментов при использовании исходных гранул полистирола 1,00; 0,63 и 0,40 мм. Тогда уменьшение остаточного содержания порообразователя в предварительно вспененном полистироле предопределяется соотношением 1,00:0,25:0,10.

При использовании исходных гранул полистирола в границах размеров 1,00; 0,63 и 0,40 мм остаточное содержание порообразователя во вспененном полистироле снижается в соотношении 1:4:10 соответственно, что и является причиной такого характера формирования шероховатости поверхности моделей, а затем и отливок.

Кроме того, на шероховатость поверхности моделей существенно влияет и плотность упаковки гранул в полости пресс-формы (ПФ) для изготовления пенополистироловых литейных моделей.

В соответствии с предложенной схемой наполнения вспененным полистиролом различного диаметра  $D_n$  полости ПФ становится очевидным ее влияние на формирование качественной поверхности на контактной границе «полистирол – стенка ПФ». Так, наполнение полости ПФ на  $2/3$  крупными гранулами, ( $D_n > 2/3 R$ ), не гарантирует формирования качественной равномерной контактной поверхности, что ведет к явному увеличению ее шероховатости, а также и отливки (рис. 3, а). В случаях, когда наполнение ПФ производят мелкими гранулами ( $D_n < 2/3 R$ ), то наблюдается эффект, аналогичный предыдущему (рис. 3, б).

Третий вариант наполнения ПФ полистиролом

малого диаметра ( $2D_n > 2/3 R$ ) является оптимальным. В этом случае возможно формирование поверхности модели с одновременным обеспечением ее низкой шероховатости (рис. 3, в).

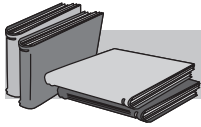
### Выводы

1. В результате математической обработки экспериментальных данных получили уравнения регрессии, которые дали возможность установить интервал отклонений линейных размеров стальных отливок от их номинала (15-500 мм). Это помогло определить размерную точность литья по газифицируемым моделям, которая находится в поле допусков квалитетов 3-5 (ГОСТ 26645-85) против 7-10 при литье в песчаные формы, в том числе на основе ХТС.

2. Шероховатость поверхности пенополистироловых моделей при их плотности в 20-30 кг/м<sup>3</sup> находится в пределах 4-8 мкм, она соответствует 4-6 квалитетам (ГОСТ 26645-85) и зависит от выбора размеров исходных гранул полистирола, кратности вспенивания и степени наполнения ими пресс-формы.

3. Шероховатость поверхности стальных отливок на 1-2 квалитета выше, чем ГМ. Их минимальные значения находятся в пределах 5-8 мкм при использовании моделей, изготовленных из полистирола с диаметром исходных гранул 1 мм, а максимальные – 8-12 мкм с диаметром гранул 0,4 мм.

4. Выбор оптимальных размеров исходных гранул полистирола, кратности их вспенивания и степени заполнения ими пресс-формы дает возможность получать стальные отливки по газифицируемым моделям с размерной точностью в границах 3-5 квалитетов (ГОСТ 26645-85) и их шероховатостью поверхности ( $Ra$ ) в границах 5-8 мкм.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. № 28127, Україна, МПК В22С 9/04 (2006.01). Спосіб виготовлення армованих деталей / І. О. Шинський, О. Й. Шинський, П. М. Каричковський, О. А. Яковишин. – Опубл. 26.11.2007, Бюл. № 19.
2. Пат. 42568, Україна, МПК (2009) В22D 18/00, В22D 27/04 (2006.01), В22С 1/00. Спосіб одержання виливків за моделями, що газифікуються, з кристалізацією під тиском / І. О. Шинський, О. Й. Шинський, П. М. Каричковський, В. А. Болюх. – Опубл. 10.07.2009, Бюл. № 13.
3. Шуляк В. С. Состояние и перспективы развития литья с использованием газифицируемых моделей: Сб. Литье по газифицируемым моделям. – К.: ИПЛ АН УССР, 1973. – С. 5-15.
4. Шинский О. И. Новое в теории и практике литья по газифицируемым моделям. – Литейн. произв-во. – 1998. – № 7. – С. 31-34.

### Анотація

*Тараненко Н. А., Гутько Ю. І.*

Вплив фізико-технологічних та механічних властивостей пінополістиролових моделей на розмірну точність та шорсткість виливок

*Експериментально визначено розмірну точність литва за моделями, що газифікуються, а також шорсткість поверхні пінополістиролових моделей і сталевих виливок.*

### Ключові слова

*пінополістиролова модель, шорсткість, розмірна точність, щільність моделі*

### Summary

*Taranenko N. A., Gutko Yu. I.*

Influence of physicotchnological and mechanical properties foampolystyrene model on the dimensional accuracy and a roughness of castings

*The dimensional accuracy of molding is experimentally determined by gasifiable models, and also a roughness surface of foampolystyrene models and steel castings.*

### Keywords

*foampolystyrene model, roughness, dimensional accuracy, model density*

Поступила 09.03.13

**Редакция журнала «Металл и литье Украины»  
может подготовить заказной номер издания**

Ориентировочная стоимость заказного номера – 6750 грн.  
(объем до 5 уч.-изд. л.)

Ориентировочная стоимость заказного спаренного номера – 13000 грн.  
(объем до 10 уч.-изд. л.)