

## Технологическое решение изготовления формообразующей оснастки по керамическим армированным стержням

*При исследовании способа получения точнолитой формообразующей оснастки для изготовления корпусов водонапорной арматуры предложено технологическое решение получения цельнолитой конструкции вставки пресс-формы по керамическим армированным стержням. Расплав подвергался комплексному воздействию с целью улучшения структуры и физико-механических свойств отливок, что позволило получить точнолитую вставку пресс-формы с прочностью на уровне штампованных сталей.*

**Ключевые слова:** *цельнолитая вставка пресс-формы, комплексное модифицирование, вакуумирование, вибрация.*

Литье под давлением занимает одно из ведущих мест в литейном производстве, так как дает возможность изготавливать отливки самой разнообразной конфигурации массой от нескольких граммов до 30 кг и более. В теории и практике процесса литья высокотемпературных сплавов под давлением особое внимание уделяется проблеме стойкости формообразующей оснастки. Стоимость формообразующей оснастки для литья под давлением составляет около 50 % затрат, а большой объем механической обработки высоколегированных сталей, сложность конфигурации и поверхностного рельефа вставок пресс-форм непосредственно отражается на увеличении затрат на их изготовление.

Повышение термической стойкости и снижение затрат на изготовление формообразующей оснастки для литья под давлением представляет одну из актуальных задач в области специальных способов литья. Вставки пресс-форм, изготовленные из литой стали по предложенной технологии, за счет ликвационной неоднородности, направленной и ускоренной кристаллизации, комплексной обработки расплава проявили более высокие эксплуатационные свойства по сравнению с образцами из ковanej стали.

При исследовании способа получения точнолитой формообразующей оснастки для изготовления корпусов водонапорной арматуры предложено технологическое решение получения цельнолитой конструкции вставки пресс-формы по керамическим армированным стержням. При этом две половинки вставки отливают единой отливкой, а затем разрезают по линии разъема. Такое решение продиктовано тем, что вставки трехместные и при смыкании двух половин необходимо совпадение гнезд. Изготовить же две отливки с абсолютным совпадением межосевых расстояний практически не представляется возможным, так как при литье получить гарантированную размерную точность весьма сложно.

На рис. 1 представлена принципиальная схема технологического процесса изготовления цельнолитых вставок пресс-форм.

При проектировании оснастки учитывалась особенность технического решения. Стержневой ящик

для получения армированных керамических стержней, оформляющих внутреннюю полость формы, изготавливали из алюминия путем отливки заготовок и механической обработки с последующей доводкой. В размеры стержневого ящика закладывали припуск на разрез 8 мм по линии разъема.

В качестве материала для изготовления модели, прибыли и литниковой системы выбрано дерево. Размеры модели, оформляющей внешние контуры отливки, выбирали с учетом усадки стали 40X5МФС, припуска на разрез 8 мм и припуска на механическую обработку 4 мм. Модель изготавливали разъемной. Плоскость разъема модели соответствует плоскости разъема готовой отливки. Литниковая система и прибыль рассчитывались по известным методикам для стали.

Керамические армированные стержни (рис. 2) получали из этилсиликатной керамики на основе пылевидного циркона. Выбор огнеупорного наполнителя – циркона обусловлен более высоким коэффициентом теплоаккумулирующей способности (в 1,2 раза выше, чем у кварца). При применении керамики на основе кварца ухудшается качество отливок из стали 40X5МФСЛ из-за поверхностного обезуглероживания. На поверхности отливок, полученных в кварцевые формы, имелся обезуглероженный слой толщиной 0,5 мм, а с применением форм на основе циркона – слой толщиной 0,2 мм.

В качестве арматуры использовался стальной прут диаметром 15 мм с накаткой для улучшения крепления керамики, который устанавливался в специальные пазы стержневого ящика (рис. 3).

Установлено, что плотность керамических образцов возрастает пропорционально увеличению содержания наполнителя в суспензии. В соотношении концентрат цирконовый и гидролизированный этилсиликат (КЦ/ГЭТС) = 3,3 плотность равна 1,9 г/см<sup>3</sup>, а при соотношении КЦ/ГЭТС равном 4, плотность керамического образца увеличивается до 2,5 г/см<sup>3</sup>. При этом пористость керамических стержней изменяется от 54 до 42 %.

Исследования показали положительный эффект вакуумирования суспензии и применения вибрации

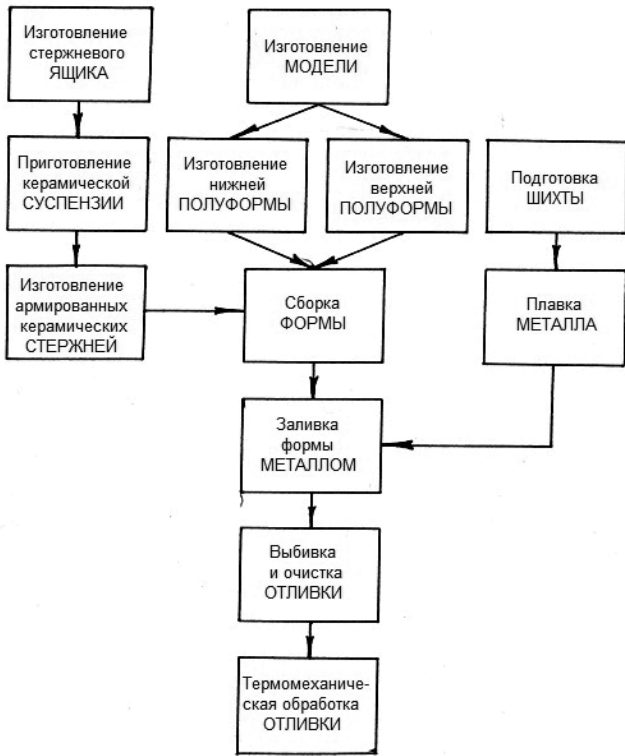


Рис. 1. Принципиальная схема технологического процесса изготовления цельнолитых вставок пресс-форм



Рис. 2. Керамический армированный стержень

в ходе заполнения суспензией стержневого ящика. Керамика без внешнего воздействия имеет пористость  $45 \div 48 \%$ , плотность –  $2 \div 2,4 \text{ г/см}^3$ .

Выполненные исследования позволили выработать следующие практические рекомендации:

1. Керамическая суспензия, содержащая 4 массовые доли цирконового концентрата и одну массовую долю ГЭТС, обеспечивает наибольшую плотность керамических стержней.

2. Вибрация и вакуумирование (-1) стержневого ящика при заполнении его керамической суспензией способствует качественному заполнению полостей с тонкорельефной поверхностью.

Перед заливкой керамическая суспензия подвергалась вакуумированию при глубине вакуума (-1) до полного удаления пузырьков воздуха в течение 2–3 минут.

Затем производилась заливка керамической суспензии в стержневой ящик при одновременном вакуумировании полости стержневого ящика и вибрационном воздействии (рис. 4). Вакуумирование прекращали в момент появления керамической су-

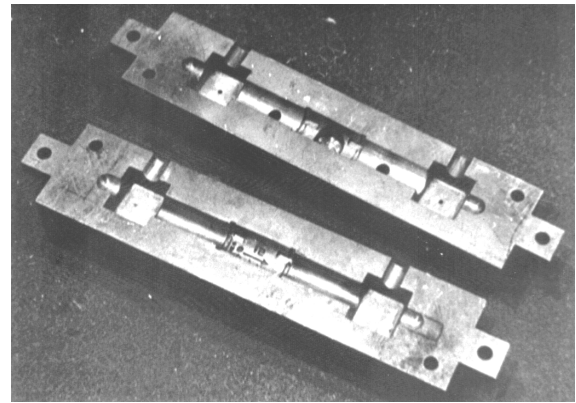


Рис. 3. Стержневой ящик

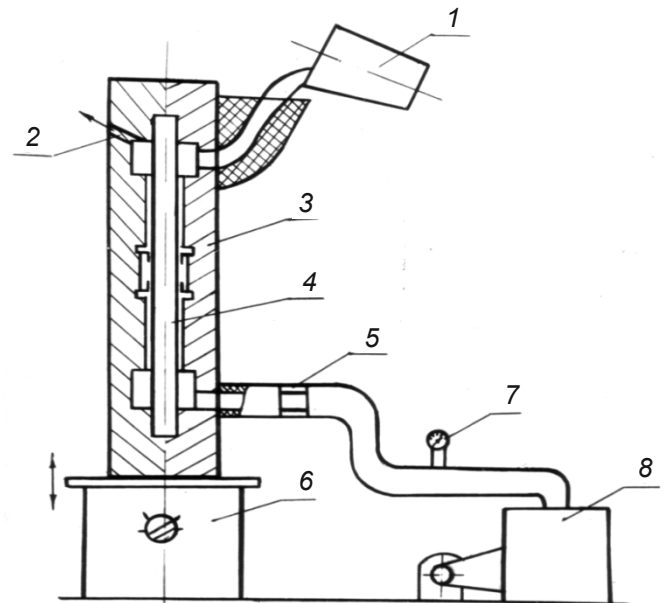


Рис. 4. Технологическая схема установки для получения керамических стержней: 1 – емкость с керамической суспензией; 2 – канал для выхода газов; 3 – стержневой ящик; 4 – арматура; 5 – стеклянная трубка; 6 – вибратор; 7 – манометр; 8 – вакуумный насос

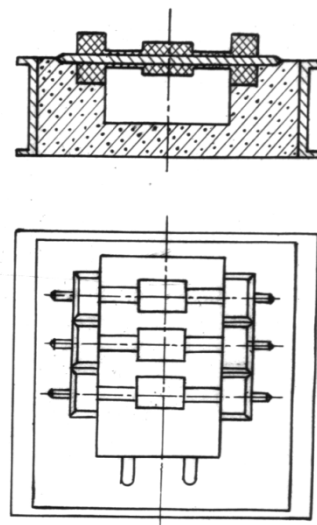


Рис. 5. Нижняя полуформа с керамическими стержнями

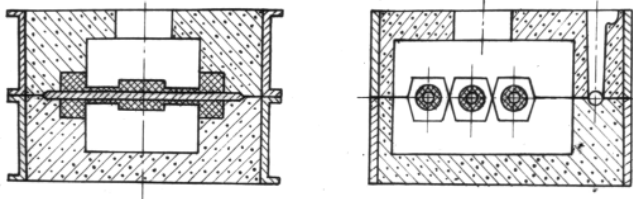


Рис. 6. Форма в сборе

спензии в стеклянной трубке 5. Вибратор 4 отключали после появления керамической суспензии из канала для выхода газов 2.

В начальный момент твердения керамической облицовки, когда она принимает резиноподобное состояние, ящик раскрывали и стержень извлекали. Время твердения керамики – 3,0–3,5 минут. Затем керамический стержень поджигали с целью выгорания летучих веществ, прокаливали в печи при температуре 900–950 °С в течение 1,5–2,0 часов.

Полуформы верха и низа изготавливали из песчано-жидкостекольной смеси, состоящей из 95 % кварцевого песка 1K020A – 1K0315A и 5 % жидкого стекла. Отверждение смеси после формовки проводилось в оснастке продувкой CO<sub>2</sub> через наколы. В качестве разделительного покрытия на поверхности раздела форма – модель применяли серебристый графит. Керамические армированные стержни устанавливали в нижнюю полуформу (рис. 5) и накрывали полуформой верха (рис. 6).

Плавка стали проводилась в индукционной тигельной печи с кислой футеровкой, позволяющей проводить комплексное модифицирование, рафинирование инертными газами и раскисление металла в тигле. В качестве модификаторов были выбраны следующие модификаторы: бор, церий, силикокальций.

Бор выбран из соображений, связанных с рядом факторов, и, прежде всего, с модифицирующим влиянием бора на процессы кристаллизации стали, приводящем к значительному измельчению первичных зерен – кристаллитов [3]. Известна также высокая химическая активность бора по отношению к кислороду и азоту. Повышенная устойчивость аустенита к распаду при переохлаждении, а, следовательно, повышенная прокаливаемость – свойство, определяющее степень однородности структуры и уровень механических свойств термически обработанных деталей. Кроме того, под влиянием бора возможно изменение состава и морфологии избыточных фаз, выделяющихся по границам кристаллов и вторичных зерен в сложнолегированных сталях, для улучшения их способности к горячей пластической деформации.

Силикокальций – один из традиционных модификаторов и раскислителей, применяемый при плавке стали. Кальций выполняет раскислительную функцию, образуя продукты раскисления, отличающиеся низким удельным весом и малой адгезией, легко всплывающие на поверхность расплавов, что приводит не только к изменению их состава и морфологии. Кальций выполняет модифицирующую функцию, что непосредственно связано с влиянием кальция на поверхностное натяжение. Кальций, как поверхностно-активное вещество, скапливается в виде «вала» на

поверхности растущих зерен первичной кристаллизации, препятствуя тем самым развитию скелетных форм дендритов. Однако, эффект модифицирования кальцием в значительной степени зависит от его растворимости в металле. Чем больше растворимость кальция в металле, тем эффект модифицирования сильнее.

Церий выбран с учетом его модифицирующего и раскисляющего воздействия, а также высокой способности к десульфурации. Учитывая высокую раскислительную способность бора, кальция и церия, непременным условием получения модифицирующего эффекта от введения комплексного модификатора является полное раскисление стали алюминием.

Состав выбранного комплексного модификатора (в %): ферроцерий – 0,1; ферробор – 0,005; силикокальций – 0,15; алюминий – 0,13.

Частично состав раскисляется в печи. Модифицирование производится в ковше под колокольчиком во избежание пирроэффекта. Состав комплексного модификатора (%мас.): ферроцерий – 0,1; силикокальций – 0,15; ферробор – 0,005. С целью снижения угара молибдена, хрома, ванадия при переплаве отходов стали 4X5МФС проводится предварительное раскисление. При этом вначале в печь вводится ферромарганец, затем – ферросилиций или силикокальций. Окончательное раскисление проводится за 10 минут до выпуска плавки из печи.

Для получения высоких механических свойств стали необходимо максимально освободить расплав от продуктов окисления, являющихся источником эндогенных включений. Достигается это продувкой расплава аргоном.

Температура заливки стали – 1640–1660 °С. Шихта рассчитывалась на химический состав стали 40X5МФС. После заливки и выбивки отливка отжигалась при температуре 840–860 °С. Затем для снятия напряжений при черновой обработке выполнялся отпуск при температуре 650 °С в течение 2–3 часов.

После механической обработки проводилась термическая обработка по следующим режимам:

- закалка – загрузка в печь при 500 °С, выдержка в течение часа;
- нагрев до 820–840 °С, выдержка 15–20 с на 1 мм толщины при нагреве в соляной ванне и 25–30 с для нагрева в печи;
- охлаждение на воздухе до 900 °С;
- закалка в веретенном масле, имеющем температуру 60 °С до твердости HRC 45.

Отпуск 1 – при температуре 625–650 °С, выдержка 0,5 часа. Отпуск 2 – при температуре 500–550 °С, выдержка 15–20 минут.

Полученные вставки пресс-форм имеют светлую неокисленную поверхность шероховатостью 5–6 класса, на которой практически отсутствует обезуглероженный слой. Металлографические исследования вставок пресс-форм показали, что литая структура приближается к структуре прокатной закаленной стали (мартенситно-трооститной) с микротвердостью 482–569 НВ.

При испытании отлитых вставок на прочность при разрыве было установлено, что прочность состав-

ляет  $145-155 \cdot 10^7$  Па, то есть близка к показателям штампованных сталей. Ударная вязкость после термообработки образцов находится в пределах  $0,514-0,778$  Дж/м<sup>2</sup>, что в 1,5 раза превышает показатели такой же стали после высокотемпературной (термомеханической) обработки при 1273 К.

Термическую стойкость вставок определяли по следующим критериям: количество циклов до образования первой трещины, величина инкубационного периода (в циклах) от момента появления трещины до ее образования шириной 500 мкм, изменение формы и налипание латуни на поверхности. Первая трещина на вставке из проката стали 40X5МФС появилась на 120-ом цикле, а инкубационный период составил 30 циклов. Однако изменение формы наблюдалось уже после 30 циклов. В вставках из литой стали 40X5МФСЛ первая трещина появилась после 245 циклов, а инкубационный период составил 190 циклов. Изменение формы зарегистрировано после 180 циклов. Налипание латуни практически отсутствует.

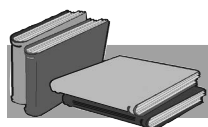
Производственные испытания проходили на машинах мод. 711A07 с горячей камерой прессования. Материал отливки – латунь ЛС-59. После выполне-



Рис. 7. Две половинки цельнолитой вставки пресс-формы

ния производственной программы (1800 годных отливок) пресс-форма находилась в рабочем состоянии и не нуждалась в ремонте. При этом ее стойкость выросла в 1,5 раза по сравнению со стойкостью механических обработанных пресс-форм.

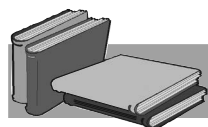
Две половинки цельнолитой вставки пресс-формы представлены на рис. 7.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Липтуга И.В., Ясюков В.В., Воронова О.И. Технология изготовления литых вставок пресс-форм. – М.: *Машиностроитель*. – 1989. – № 1. – С. 23–26.
2. Воронова О.И., Меланьин О.А. Влияния технологии плавки на свойства и стойкость точнолитой оснастки из сложнолегированных сталей // *Международный информационно-технический журнал «Оборудование и инструмент для профессионалов. Серия: Металлообработка»*. – Харьков. – 2009. – № 1 (109). – С. 39–42
3. Воронова О.И. Исследование влияния комплексного модификатора на свойства и стойкость легированной стали при многократном переплаве. Материалы VIII международной конференции «Пути повышения качества и экономичности литейных процессов», г. Одесса, 2004 г. – С. 32–38.

Поступила 25.09.2018



## REFERENCES

1. Liptuga, I.V., Yasiukov, V.V., Voronova, O.I. (1989). Manufacturing technology of cast inserts molds. Moscow: *Mashinostroitel'*, no. 1, pp. 23–26 [in Russian].
2. Voronova, O.I., Melan'in, O.A. (2009). Effects of smelting technology on the properties and durability of precisely cast tooling from complex-alloyed steels. *Mezhdunarodnyi informatsionno-tekhnicheskii zhurnal "Oborudovanie i instrument dlia professionallov. Serii: Metalloobrabotka"*. Khar'kov, no. 1 (109), pp. 39–42 [in Russian].
3. Voronova, O.I. (2004). Investigation of the effect of complex modifier on the properties and durability of alloyed steel during repeated remelting. Proceedings of the VIII International Conference "Ways to improve the quality and economic efficiency of foundry processes". Odessa, 2004, pp. 32–38 [in Russian].

Received 25.09.2018

## Анотація

**О.І. Воронова**, приват-доцент, e-mail: olgaliptuga@ukr.net

*Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса, Україна*

## Технологічне рішення виготовлення формоутворюючої оснастки за керамічними армованими стрижнями

*При дослідженні способу отримання точнолітої формоутворюючої оснастки для виготовлення корпусів водонапірної арматури запропоновано технологічне рішення отримання суцільнолітої конструкції вставки прес-форми за керамічними армованими стрижнями. Розплав піддавався комплексному впливу з метою поліпшення структури і фізико-механічних властивостей виливків, що дозволило отримати точноліту вставку прес-форми з міцністю на рівні штампованих сталей.*

## Ключові слова

*Суцільноліта вставка прес-форми, комплексне модифікування, вакуумування, вібрація.*

## Summary

**O.I. Voronova**, privat-docent, e-mail: olgaliptuga@ukr.net

*Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine*

## The technological decision of manufacturing of a forming tool on ceramic reinforced bars

*When investigating the method of obtaining a precision casting tool for the manufacture of water-valve housings, a technological solution has been proposed for the production of a one-piece design of a mold insert on ceramic reinforced rods. The melt was subjected to a complex action to improve the structure and physico-mechanical properties of the castings, which made it possible to obtain a precision mold insert with a strength at the level of stamped steels.*

## Keywords

*Solid mold insert, complex modification, vacuuming, vibration.*