

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

В. В. Ясюков, канд. техн. наук, приват-профессор

Одесский национальный политехнический университет, Одесса, Украина

Оценка влияния переплава на стойкость вставок пресс-форм литья под давлением

Литье под давлением является прогрессивным методом производства заготовок, существенным недостатком которого, однако, является дефицитность и дороговизна сложнолегированных инструментальных сталей, из которых изготавливается оснастка. Как один из способов решения этой проблемы предлагается утилизация вышедших из строя пресс-форм многократным переплавом. Проведенные исследования и промышленные испытания вставок пресс-форм, изготовленных по предложенной технологии, доказали ее экономическую целесообразность.

Ключевые слова: формообразующая оснастка, керамизированный кокиль, инструментальная сталь.

Актуальность работы. Литье под давлением (ЛПД) занимает одну из ведущих позиций в литейном производстве, так как дает возможность изготавливать отливки самой разнообразной конфигурации с минимальными припусками на механическую обработку или без нее, минимальной шероховатостью поверхности, массой от нескольких граммов до 30 кг и более. Низкая эксплуатационная стойкость пресс-форм при ЛПД обуславливает необходимость применения дорогостоящих и дефицитных сложнолегированных сталей, что в ряде случаев превращает высокопроизводительный процесс в малозффективный. Стоимость формообразующей оснастки для ЛПД 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 ЛПД представляет одну из актуальных задач в области специальных способов литья.

Постановка задачи. Анализ состояния проблемы на основе обобщения практических данных и литературного обзора по изготовлению и эксплуатации формообразующей оснастки позволил сделать вывод, что одним из наиболее прогрессивных и перспективных процессов является литье в керамические формы. Однако при получении отливок из легированных сталей в керамических формах из-за низкой теплопроводности материалов наблюдается крупнозернистое строение литых образцов с образованием разориентированной структуры, что приводит к снижению прочности отливок. Применение форм с повышенной теплоаккумулирующей способностью обеспечивает изменение теплового режима, для которого характерно формирование мелкокристаллической структуры.

С учетом этого значительный интерес представляет применение металлических керамизированных форм. Сочетание в облицованном кокиле неметаллического

рабочего слоя – облицовки и металлической опоры – кокиля, создает возможность повышения качества отливок при одновременном снижении металлоемкости производства. Применение облицовки определенной толщины позволяет организовать оптимальные температурные условия формирования отливок с заданными, в том числе локально изменяющимися, свойствами при одновременном сокращении расхода металла на технологические и конструктивные элементы – прибыли, напуски и припуски. Существенным преимуществом литья в облицованный кокиль является повышение геометрической точности отливок, включающее в себя размерную точность, качество поверхности, пространственные отклонения, точность конфигурации. Высокая точность отливок, получаемых в кокилях с керамической облицовкой, является следствием более высокой жесткости формы.

Цель работы. С целью повышения термической стойкости и снижения затрат на изготовление формообразующей оснастки для ЛПД был разработан технологический процесс изготовления точнолитых вставок пресс-форм литьем в керамизированный кокиль. Вставки пресс-форм, изготовленные из литой стали по предложенной технологии, за счет снижения ликвационной неоднородности, направленной и ускоренной кристаллизации, комплексной обработки расплава проявили более высокие эксплуатационные свойства по сравнению с образцами из ковеной стали [1]. С целью экономии металла утилизировали снятые с производства пресс-формы путем их переплава в индукционной печи с кислой футеровкой.

Сущность и методы исследования. Исследование многократного переплава осуществлялось путем изготовления технологических проб, изучения химического состава металла, механических свойств, термостойкости, формостойкости, структур и микротвердости.

Проводился пятикратный переплав стали 40X5МФС, широко используемой для вставок пресс-форм ЛПД. Сталь в процессе плавки раскислялась алюминием частично в тигле, затем в ковше и заливалась в керамизированный кокиль. Параллельно с

изготовлением отливок заливались технологические тrefовидные пробы, и проводилось полное исследование состава и свойств металла. Результаты анализа химического состава приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты анализа химического состава

Номер переплава	C, %	Si, %	Mo, %	Cr, %	V, %
1	2	3	4	5	6
1	0,32	0,71	1,32	5,70	1,24
2	0,34	0,73	1,32	5,31	1,24
3	0,34	0,81	1,32	4,90	1,26
4	0,35	0,84	1,32	4,55	1,22
5	0,35	0,84	1,32	4,31	1,14

Результаты исследований показали, что дальнейшее увеличение содержания кремния от 0,7 до 0,84 % происходит вследствие насыщения кремнием из футеровки ковша и печи во время плавки и заливки стали, но остается в пределах, допустимых ГОСТ. Увеличение содержания углерода при последующих переплавах объясняется дендритной ликвацией, усиливающейся за счет затрудненной диффузии в легированных сталях. Процентное содержание в стали вредных примесей соответственно составляет (в %): фосфора – 0,02, серы – 0,028, содержание марганца – 0,2. Колебания химического состава при пятикратном переплаве лежат в пределах точности их измерения и не выходят за границы стандартных отклонений, предусмотренных ГОСТ 5960-88. Результаты испытаний образцов на механические свойства приведены в табл. 2.

Испытания показали, что механические свойства стали в зависимости от кратности переплава изме-

Таблица 2

Результаты испытаний образцов на механические свойства

Номер переплава	Номер образца	$\sigma_b \cdot 10^7$, Па	δ , %	КСУ, Дж/м ²
1	1	150	2,5	0,41
	2	149	1,75*	0,95
	3	154	2,8	0,60
	4	149,7	2,2	0,55
2	1	147	2,5	0,56
	2	144,5	2,7	0,56
	3	145	2,6	0,73
	4	142	2,3	0,58
3	1	144	5,3*	1,05
	2	133,5	0,75*	1,05
	3	145	3,7	0,75
	4	142	2,8	0,81
4	1	134,5	4,0	1,20
	2	136,5	4,5	1,15
	3	135	4,3	0,75
	4	133,7	4,6	0,93
5	1	132	4,8	1,28
	2	130,5	5,0	0,98
	3	129	4,65	1,15
	4	131	4,9	1,06

* – образец разрушился в неполюженном месте

няются незначительно. Временное удельное сопротивление от первого до пятого переплава изменяется в среднем всего на $15 \div 20$ единиц. После пятикратного переплава прочность сохраняется на уровне $132 \cdot 10^7$ Па, что соответствует прочности кованных сталей аналогичного химического состава.

Относительное удлинение в зависимости от кратности переплава изменяется от 2,5 до 4,5 %, что несколько хуже, чем у образцов из проката. Ударная вязкость в зависимости от кратности переплава возрастает, однако во всех образцах значение ударной вязкости в (1,4 ÷ 1,8) раза выше значений этого же показателя для кованных сталей.

Металлографические исследования показывают, что на шлифах всех пяти переплавок получена неоднородная структура: светлые поля – игольчатый троостито-мартенсит с преобладанием троостита и микротвердостью H_{50} 462 – 540 и темные поля – сорбитообразный перлит с небольшим количеством троостита и микротвердостью H_{50} 380 – 418.

Проведенные исследования показывают, что химический состав, механические свойства, микротвердость и микроструктура образцов при многократном переплаве по предлагаемой технологии особых изменений не претерпевают. Исследование термостойкости проводилось подсчетом циклов теплосмен (ц.т.) до появления первой трещины (незаштрихованная зона столбца на диаграмме), инкубационный период (заштрихованная зона) составлял количество теплосмен от появления сетки разгара до роста трещины размером 0,5 мм [2, 3].

Формостойкость, определяемая величиной возникающей пластической деформации, фиксировалась смятием пресс-форм в местах стыка (вкладыш-штулка, вкладыш-вкладыш, стержень-вкладыш и т. п.), которое вызывает облой, заливки и другие дефекты отливок. При толщине облоя 2 мм образцы снимались с испытаний. Результаты испытаний приведены на рис. 1 и рис. 2.

Переплав с комплексным модифицированием

В качестве модификаторов были выбраны следующие: бор, церий, силикокальций. Бор определяет ряд факторов и, прежде всего, модифицирующее влияние на процессы кристаллизации стали, приво-

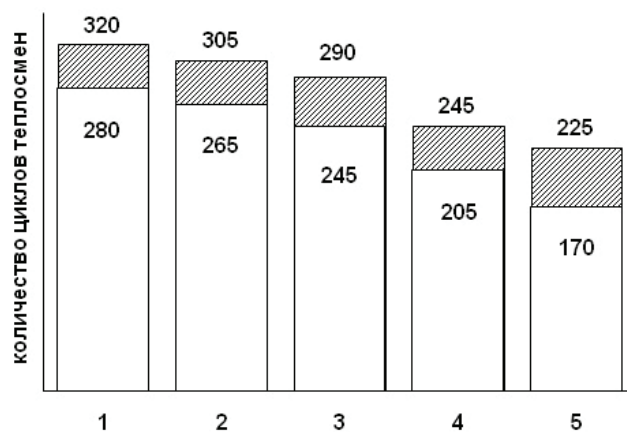


Рис. 1. Термостойкость образцов из стали 40X5MФС в зависимости от кратности переплава

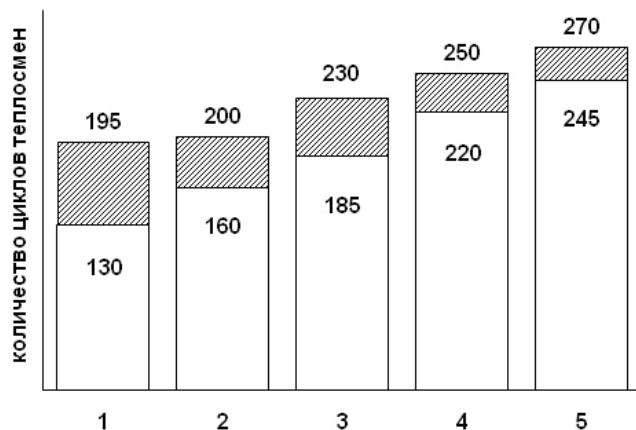


Рис. 2. Формостойкость образцов из стали 40X5MFC в зависимости от кратности переплава

дящее к значительному измельчению первичных зерен – кристаллитов. Известна также высокая химическая активность бора по отношению к кислороду и азоту, повышение устойчивости аустенита к распаду при переохлаждении, а, следовательно, повышение прокаливаемости – 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, применяемых 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 его влиянием на поверхностное натяжение. Он, как поверхностно-активное вещество, скапливается в виде «вала» на поверхности растущих зерен первичной кристаллизации, препятствуя тем самым развитию скелетных форм дендритов. Эффект модифицирования кальцием в значительной степени зависит от его растворимости в металле. Чем больше растворимость, тем эффект модифицирования выше.

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

Состав комплексного модификатора:

Ферроцерий – 0,1 %

Ферробор – 0,005 %

Силикокальций – 0,15 %

Алюминий – 0,13 %.

Частично сплав раскислялся в тигле, окончательное раскисление достигалось введением алюминия в ковш. Показателем полноты раскисления служит остаточное содержание алюминия в образцах, которое должно быть не менее 0,008 %.

Модифицирование производилось в ковше под колокольчиком во избежание пироэффекта. Расчет количества модифицирующих добавок проводился в зависимости от кратности переплава и количества металла. Результаты расчета приведены в табл. 3.

Расплав заливался в керамизированный кокиль. Отливались стандартные трефовидные пробы. Результаты химического анализа пятикратного переплава с модифицированием приведены в табл. 4.

Результаты испытаний образцов на механические свойства приведены в табл. 5.

Результаты испытаний образцов на термостойкость и формостойкость приведены на рис. 3 и рис. 4.

Выводы

Промышленные испытания литых вставок прессформ из стали 40X5MFC показали их пригодность и высокую экономичность изготовления литьем в керамизированный кокиль (рис. 5). Проведенные исследования по изучению влияния кратности переплава с комплексным модифицированием на свойства и стойкость стали 40X5MFC показали, что комплексное модифицирование улучшает прочностные свойства материала и позволяет сохранить их на уровне кованных сталей, даже после 5-ти кратного переплава [4].

Таблица 3

Результаты расчета количества модифицирующих добавок

Номер* переплава	Вес металла, кг	Алюминий, г	Ферроцерий, г	Ферробор, г	Силикокальций, г
2	50	65	50	2,5	75
3	45	62	45	2,25	67,5
4	40	60	40	2,0	60
5	35	58	35	1,75	52,5

*Первый переплав является базовым, без модифицирования

Таблица 4

Результаты химического анализа пятикратного переплава с модифицированием

Номер переплава	Химический состав стали, %мас.				
	C	Si	Mo	Cr	V
1	0,32	0,71	1,32	5,70	1,24
2	0,34	0,60	1,35	5,50	1,21
3	0,36	0,62	1,35	5,32	1,20
4	0,25	0,65	1,37	5,00	1,18
5	0,37	0,67	1,21	4,50	1,10

*Алюминий – следы

Таблица 5

Результаты испытаний образцов на механические свойства

Номер переплава	Номер образца	$\sigma_b, \cdot 10^7$ Па	$\delta, \%$	КСУ, Дж/м ²
1	1	178	3,7	0,65
	2	163,5	2,8	0,80
	3	169	3,2	0,93
	4	174	3,13	0,68
2	1	166	3,75	0,78
	2	164,5	1,75+	1,03
	3	156	4,2	0,95
	4	152,5	4,1	0,86
3	1	155	4,7	1,28
	2	158,5	3,9	0,98
	3	153	4,45	1,15
	4	160	4,5	1,06
4	1	143,5	4,8	1,38
	2	137	5,1	1,52
	3	141,2	4,7	1,34
	4	146	5,0	1,49
5	1	144	4,8	1,51
	2	135,5	5,2	1,47
	3	138	5,0	1,55
	4	140,6	5,5	1,52

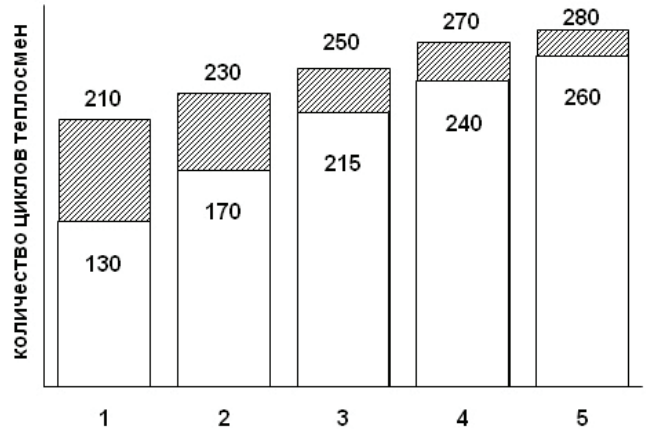


Рис. 4 Формостойкость образцов из стали 40Х5МФС с комплексным модифицированием в зависимости от кратности переплава



Рис. 5 Отливка вкладыша пресс-формы

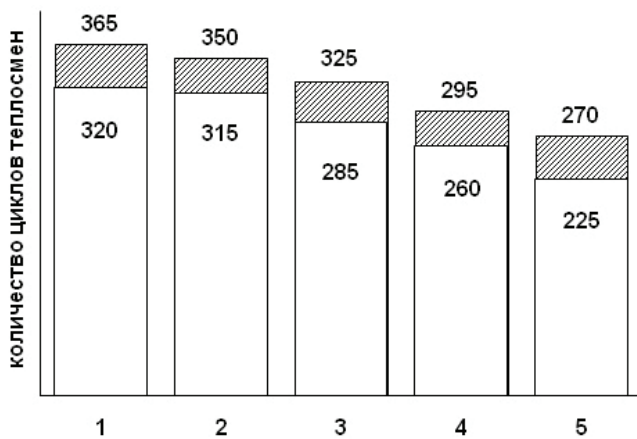
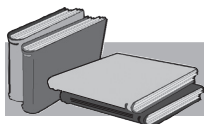


Рис. 3 Термостойкость образцов из стали 40Х5МФС с комплексным модифицированием в зависимости от кратности переплава

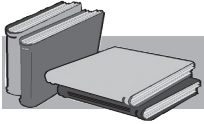
Замена традиционного метода изготовления вставок пресс-форм на литье позволила снизить трудоемкость изготовления в 1,5–2,0 раза и сократить срок освоения новых видов продукции с 8–10 до 3–4 месяцев. Утилизация вышедших из строя пресс-форм за счет многократного переплава позволяет экономить дефицитные дорогостоящие стали и снижает себестоимость оснастки на 20–25 %.



ЛИТЕРАТУРА

1. Липтуга И. В., Ясюков В. В., Воронова О. И. Технология изготовления литых вставок пресс-форм. – М.: Машиностроитель. – 1989. – № 1. – С. 28–30.
2. Воронова О. И., Меланьин О. А. Влияния технологии плавки на свойства и стойкость точнолитой оснастки из сложнолегированных сталей. – Харьков: Оборудование и инструмент для профессионалов. Серия «Металлообработка». – 2009. – № 1 (109). – С. 39–42.
3. Ясюков В. В., Колесник Е. В. Формирование поверхности раздела в композиционных отливках // VI Международная научно-техническая конференция. – Киев, 2014. – С. 66–67.
4. Воронова О. И., Лысенко Т. В., Прокопович И. В., Ясюков В. В. Проблемы стойкости оснастки ЛПД // XIV научно-практична конференція «Литво. Металургія-2018», 22-24 мая, Запорожье, 2018. – С. 51–53.

Поступила 18.05.2018



REFERENCES

1. Liptuga, I.V., Yasiukov, V.V., Voronova, O.I. (1989). Technology of manufacturing molded inserts of molds [Tekhnologiya izgotovleniia litykh vstavok press-form]. Moscow: Mashinostroitel', no. 1, pp. 23–24 [in Russian].
2. Voronova, O.I., Melan'in, O.A. (2009). Influences of technology of melting on properties and firmness of the precision casting from complex-alloyed steels [Vliianiia tekhnologii plavki na svoistva i stoikost' tochnolitoi osnastki iz slozhnolegirovannykh staley]. Khar'kov: Oborudovanie i instrument dlia professionalov. Seriia "Metalloobrabotka", no. 1 (109), pp. 39–42 [in Russian].
3. Yasiukov, V.V., Kolesnik, E.V. (2014). Formation of the interface in composite castings [Formirovanie poverkhnosti razdela v kompozitsionnykh otlivkakh]. Kiev: VI Mezhdunarodnaia nauchno-tekhnicheskaia konferentsiia, pp. 66–67 [in Russian].
4. Voronova, O.I., Lysenko, T.V., Prokopovich, I.V., Yasiukov, V.V. (2018). Problems of durability of the rigging of the LAP [Problemy stoikosti osnastki LPD]. Zaporozh'e: XIV naukovopraktychna konferentsiia "Lytvo. Metalurgiiia-2018", pp. 51–53 [in Russian].

Received 18.05.2018

Анотація

О. І. Воронова, приват-доцент, e-mail: olgaliptuga@ukr.net
В. В. Ясюков, канд. техн. наук, приват-професор

Одеський національний політехнічний університет, Одеса, Україна

Оцінка впливу переплаву на стійкість вставок прес-форм лиття під тиском

Литво під тиском є прогресивним методом виробництва заготовок, суттєвим недоліком якого, однак, є дефіцитність та дорожня складнолегованих інструментальних сталей, з яких виготовляється оснащення. Як один із засобів розв'язання цієї проблеми пропонується утилізація прес-форм, що вийшли з ладу багаторазовим переплавом. Проведені дослідження та промислові випробування вставок прес-форм, виготовлених за запропонованою технологією, довели її економічну доцільність.

Ключові слова

Формотворне оснащення, керамізований кокіль, інструментальна сталь.

Summary

O. I. Voronova, privat-docent, e-mail: olgaliptuga@ukr.net
V. V. Yasiukov, Candidate of Engineering Sciences, private-professor

Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine

Estimation of the influence of remelting on the resistance of die-casting molds inserts

Die-casting is a progressive method of production of workpieces, a significant defect of which, however, is the scarcity and high cost of complex alloyed tool steels, from which the tooling is made. As one of the ways to solve this problem, recycling of used molds with repeated remelting is suggested. The carried out researches and industrial test of inserts of the molds made on the offered technology, have proved its economic expediency.

Keywords

Molding tooling, ceramic mold, tool steel.