

УДК 621.74

В. А. Гнатуш, В. П. Самарай

Национальный технический университет «КПИ», Киев

КАСАТЕЛЬНО КЛАССИФИКАЦИИ ЛИТЕЙНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Проведен анализ существующих технологий производства металлических отливок. Разработана система классификации литейных технологий, исходя из характеристик литейной формы и физического воздействия на отливку.

Ключевые слова: литейная технология, отливка, литейная форма, классификация.

Проведено аналіз існуючих технологій виробництва металевих виливок. Розроблено систему класифікації ливарних технологій, виходячи з характеристик ливарної форми та фізичного впливу на виливку.

Ключові слова: ливарна технологія, виливок, ливарна форма, класифікація.

It was carried out the analysis of existing metal castings production technology. Also it was developed the system of classification of casting technology, based on the characteristics of the mold and the physical effects on the casting.

Keywords: foundry technology, moulding, casting mold, classification.

Введение

Мировая история литейного дела началась за 7-4 тыс. лет до н.э. Однако только с развитием машинного цикла мировой цивилизации после XVI века формируется литейное производство как одна из отраслей мировой экономики. А в XXI веке, а точнее в 2014 г., в мире по данным журнала Modern Casting было произведено 105,2 млн. т отливок, что на 1,9 % больше, чем в 2013 г. К началу XXI века мыслью и руками специалистов было создано большое количество технологических процессов для производства большой гаммы различных по назначению отливок.

Исторически производство отливок из черных, цветных и драгоценных металлов делят на две группы: в песчано-глинистую форму и с использованием специальных способов литья. Однако на наш взгляд, такая классификация не отражает всю сложность литейных технологий. Даже с позиции песчано-глинистой формы, которая является базовой, не все так однозначно. Поэтому актуальным является разработка обобщенной классификации технологий (процессов) производства отливок.

Следует отметить, что свои варианты классификации способов (технологий) изготовления металлических отливок были предложены Б. Б. Гуляевым в 1960 г. [1], Д. Ф. Чернегой и Ю. В. Моисеевым в 1989 г. [7], А. М. Сборщиком в 2007 г. [3].

Анализ и результаты

Литейный комплекс форма-металлический сплав-физическое воздействие представляет собой многофакторную систему, управление которой в настоящее время осуществляется, преимущественно, фрагментарно. Очевидно, что основными факторами, которые влияют на качество отливки являются: характеристики металлического литейного сплава, характеристики литейной формы и физическое воздействие.

Исходя из этого, предлагается при разработке классификации литейных технологий использовать принцип матрицы. При этом за основу взять материал, из которого изготавливается литейная форма. Таким образом, формируются три класса: 1 – неметаллические материалы (песок, алебастр, графит и др.), 2 – металлические материалы (сталь, чугун, алюминий, медь и их производные) и 3 – композиционные (комбинированные) материалы (металл-неметалл), (таблица).

Одновременно класс 1 имеет, применительно к разовой форме, три подкласса в зависимости от используемой литейной модели: 1.1 – постоянная модель (металл, дерево, пластик), 1.2 – аннигиляционная модель (пенопласт, парафин, лед), 1.3 – виртуальная модель с использованием 3D-принтера, а также подкласс 1.4. – форма неметаллическая многократная.

Класс 2 также разделен на три подкласса: 2.1 – металлическая форма толстостенная, 2.2 – металлическая форма тонкостенная и 2.3 – форма из металлических гранул (магнитная форма).

Применяемые в настоящее время физические воздействия на систему форма-металлический сплав предлагается разделить на 5 групп. При этом группу 1 формируют способы литья с применением вакуума, группу 2 – способы получения отливок при нормальных условиях, 3 – способы литья при низком давлении, 4 – способы литья при среднем давлении и 5 – способы литья при высоком давлении (таблица).

Далее представлен краткий обзор современных литейных технологий применительно к предлагаемой классификации.

Литье в вакуумно-плёночную форму (Vacuum molding или V-process) характеризуется использованием сухого кварцевого песка без связующего, тонкой термопластичной пленки, постоянного модельного комплекта и при давлении стенки вакуума от 0,3 до 0,6 бар (подкласс 1.1, группа 1). Данная технология изобретена в 1971 г. в Японии. Как вариант технологии предложено после заливки подвергать форму воздействию регулируемого газового давления (1.1, гр. 3).

Литье в керамическую форму (Ceramic mold casting) осуществляется заливкой при нормальных условиях разъемной формы, изготовленной по постоянной модели, из холодных огеливаемых суспензий (Шоу-процесс, композит Шоу-процесс) разработанное братьями Шоу и впервые заявленное в Англии в 1938 году (1.1, гр. 2). Первый патент на Шоу-процесс получен в 1951 году. Вариантами этой технологии являются Юникатс-процесс, Дин-процесс, Керамикаст-процесс, а также литье с использованием замораживаемого связующего. Литье в керамическую форму (1.1, гр. 1) производится в вакууме с использованием керамической формы, изготовленной из порошков оксидов, пластифицированных легкоплавкими органическими расплавами.

Литье в гипсовую форму (Plaster mold casting) осуществляется при нормальных условиях (1.1, гр. 2), с использованием вакуума (1.1, гр. 1), под низким давлением (1.1, гр. 3), а также с использованием центробежного литья (1.1, гр. 4).

Вакуумно-компрессионное литье (Vacuum-compression casting) включает в себя процесс предварительного вакуумирования расплава металла с последующим созданием разрежения в полости формы (кристаллизатора) и воздействием атмосферного давления на металлический расплав, находящийся в тигле. После отсечки

Обобщенная классификация технологий производства отливок

Классы	Подклассы	Характеристика системы форма-модель	Группы				
			1	2	3	4	5
1	2	3	вакуум	нормальные условия	низкое давление (0,1-0,2 МПа)	среднее давление (0,5-2,5 МПа)	высокое давление (40-700 МПа)
	1.1	форма неметаллическая разовая – модель постоянная	4	5	6	7	8
			литье в вакуумно-плечную форму (1); литье в керамическую форму (2); литье в гипсовую форму (2); вакуумно-компрессионное литье (2)	литье в песчаную форму; литье в оболочковую форму; литье в керамическую форму (1); литье в гипсовую форму (1); литье погружением (3)	литье под низким давлением (1); литье в вакуумно-плечную форму (2); литье в гипсовую форму (3); вакуумно-компрессионное литье (3)	центробежное литье в гипсовую форму (4)	–
			литье по газифицируемой модели (1); литье по выплавляемой модели (2)	литье по выплавляемой модели (1)	литье по газифицируемой модели (2); литье под электромагнитным давлением (2)	вакуумно-центробежное литье по выплавляемой модели (3)	–
			аддитивное литье (1)	–	аддитивное литье (3)	–	
1.4	форма неметаллическая многократная	литье в углеродные формы (3)	литье в углеродные формы (1)	Литье в углеродные формы (2)	–	–	

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8
2	2.1	форма металическая многократная толстостенная	вакуумно-центробежное литье (2), литье вакуумным всасыванием; вакуумно-компрессионное литье (1); литье с противодавлением (3); литье под давлением;	кокильное литье (1); кокильное электрошлаковое литье; электрошлаковое литье; литье на-моразиванием; непрерывное литье; литье погружением (1)	кокильное литье (2); литье под низким давлением (2); литье с противодавлением (2); литье под электромагнитным давлением (1)	литье с противодавлением (1); центробежное литье (1); литье выжиманием; стрейное литье	литье под (высоким) давлением; литье с кристаллизацией под давлением
	2.2	форма металическая многократная тонкостенная	литье космическое	литье в форму из фольги	-	-	-
3	2.3	форма из металических гранул многократная	литье по газифицируемой модели (3)	литье в магнитную форму	-	-	-
	3.1	форма ком-позиционная (комбинированная) многократная	-	облицованный кокиль; литье погружением (2)	-	-	-

подачи расплава, в камеру, в которой находится форма, подается сжатый воздух. В данной технологии используются как металлические (2.1, гр. 1), так и неметаллические формы (1.1, гр. 1 и 3).

Литье в песчаную форму (Green-sand Casting) – древнейшая литейная технология (1.1, гр. 2) включает такие ее разновидности как литье в сухую или влажную форму с применением наливных и холодно-твердеющих смесей, CO₂-процесс и т. п.

Литье в оболочковую форму (Shell Moulding) или кронинг-процесс (1.1, гр. 2) реализуется путем заливки жидкого металла при нормальных условиях в оболочковую форму, изготовленную из смеси песка (графита) и терморезактивной смолы. Данный способ запатентован Johannes Croning (1886-1957) в Германии в 1944 г.

Литье под низким давлением (Low-Pressure casting) осуществляется путем подачи металлического расплава из плавильного тигля, в котором создается избыточное давление газа 0,07 МПа, в металлическую форму (2.1, гр. 3) или песчаную форму (1.1, гр. 3). Один из вариантов технологии предусматривает газовую и поршневую допрессовку металла отливки.

Литье по газифицируемым моделям (Lost Foam Casting или evaporative pattern casting process или full mold casting process) предусматривает выжигание теплом расплавленного металла модели из пенополистирола в вакуумируемой форме с сыпучим наполнителем без связующего (1.2, гр. 1). Варианты технологии известны под марками Replicast, Policast, “ГАМОЛИВ-процесс”. История разработки ЛГМ-технологии начинается в 1956 г. Как вариант дальнейшего развития технологии применяют воздействие газового давления на форму в процессе кристаллизации или Castyral-процесс (1.2, гр. 3), а также литье в магнитную форму (2.3, гр. 1).

Литье по выплавляемой (выжигаемой, растворяемой) модели (Lost wax process или investment casting) осуществляется в многослойные оболочковые неразъемные разовые формы с применением различных способов аннигиляции модели. Технология реализуется в нормальных условиях (1.2, гр. 2), в вакууме (1.1, гр. 1), а также в комбинации с центробежным литьем, например, стоматологическое и ювелирное литье (1.2, гр. 4).

Аддитивное литье (Additive Manufacturing/Casting) реализуется путем создания трехмерной модели отливки на 3D-принтере из порошковых полимеров, фотополимеров или формы из плакированного полимером песка с заливкой при нормальных условиях (1.3, гр. 2), с последующим использованием литья по выжигаемой/выплавляемой модели с заливкой в вакууме (1.3, гр. 1) или центробежным способом (1.3, гр. 4). Первый патент на стерео-литографический аппарат был выдан в 1986 г. изобретателю Чарльзу Халлу (Charles Hull, США).

Литье в углеродные формы (Graphite mold casting) осуществляется при нормальных условиях в многоразовую форму (1.4, гр. 2), под избыточным давлением (до 0,2 МПа) воздуха или азота (1.4, гр. 3), а также в вакууме (1.4, гр. 1).

Центробежное литье (Centrifugal casting), в основном, осуществляется при нормальных условиях в неметаллическую форму (1.1, гр. 4), металлическую форму (2.1, гр. 4), а также с применением вакуумирования (2.1, гр. 1).

Литье вакуумным всасыванием (Vacuum suction casting) осуществляется путем создания разрежения в полости формы (кристаллизатора) при воздействии атмосферного давления на металлический расплав, находящийся в тигле (2.1, гр. 1).

Литье кокильное (Gravity die casting или Permanent mold casting) – процесс получения отливок при нормальных условиях в металлическую литейную форму (2.1, гр. 2), с применением газовой допрессовки при кристаллизации (2.1, гр. 3), а также с использованием центробежного литья (2.1, гр. 4).

Электрошлаковое литье (Electroslag Casting) – совмещенный процесс получения фасонных отливок в водоохлаждаемой металлической литейной форме (кристаллизаторе) с электрошлаковым переплавом расходуемого электрода (2.1, гр. 2).

Кокильное электрошлаковое литье (Electroslag gravity die Casting) – комбинация заливки жидкого металла в металлический кокиль с электрошлаковым переплавом металла (2.1, гр. 2).

Центробежное электрошлаковое литье (Electroslag centrifugal die Casting) – комбинация заливки жидкого металла во вращающийся металлический кокиль с электрошлаковым переплавом металла (2.1, гр. 5).

Литье намораживанием (Slush casting) выполняется при нормальных условиях путем выливания жидкого металла синхронно с образованием твердой фазы на поверхности вращающегося кристаллизатора или в стационарный кристаллизатор (2.1, гр. 2).

Непрерывное литье (Continuous Casting) – получение отливок (слиток, заготовка, лист) при нормальных условиях путем непрерывного литья жидкого металла в водоохлаждаемую металлическую форму – кристаллизатор (2.1, гр. 2).

Литье с погружением (Sinking/Dip Casting) осуществляется путем погружения специальной литейной формы в расплавленный металл, который заполняет ее через короткие питатели. Литейную форму выдерживают в ванне до полного затвердевания отливки, после чего форму поднимают и из нее извлекают отливку. Литейная форма может быть керамической (1.1, гр. 2), металлической (2.1, гр. 2) и комбинированной (3.1, гр. 2).

Литье с противодавлением (Counter-pressure Casting) – процесс литья, осуществляемый в кокиль на заливочной установке с регулируемым газовым давлением (0,5-2,5 МПа) над жидким металлом и в полости литейной формы в процессе кристаллизации (2.1, гр. 3 или 4). Способ литья с противодавлением изобретен в Болгарии Ангелом Балевским (Angel Balevski) и Иваном Димовым (Ivan Dimov) в 1961 г. Одним из вариантов дальнейшего развития данного процесса является применение вакуумирования литейной формы (2.1, гр. 1).

Литье под электромагнитным давлением (Moulding under pressure solenoid) реализуется при использовании магнитодинамической установки для заливки металлических форм под давлением 0,05-0,4 МПа с последующей подпрессовкой (2.1, гр. 3). Технология совмещается с литьем по выплавляемым моделям (1.2, гр. 3).

Литье выжиманием (Pressing Casting) реализуется на литейно-выжимных машинах с использованием как поворотного, так и плоскопараллельного перемещения металлических полуформ с усилием выжимания 70-300 кН (2.1, гр. 4).

Спрейное литье (Spray Forming или Spray Casting) процесс основан на распылении жидкого металла в изложницу или форму, как вариант распыление осуществляется на валки или с центрифугированием (2.1, гр. 4).

Литье под (высоким) давлением (Die Casting) осуществляется путем принудительного заполнения рабочей полости металлической пресс-формы жидким металлом под давлением от 40 до 700 МПа (2.1, гр. 5). Разработаны варианты технологии с использованием вакуумирования полости пресс-формы (2.1, гр. 1), а также с регулированием состава газа в полости формы.

Литье с кристаллизацией под поршневым давлением (Liquid Forging Process или Squeeze casting) осуществляется путем заливки жидкого металла в полость разъемной или неразъемной металлической формы с последующим воздействием на кристаллизующийся металл поршневого давления (10-200 МПа) – 2.1, гр. 5. Коммерческое использование данной технологии под названием Squeeze casting было начато в Европе, Северной Америке и Японии после 1960 г.

Литье космическое (Cosmic Casting) осуществляется в невесомости и вакууме в летательных аппаратах на орбите Земли (2.2, гр. 1).

Литье в формы из фольги (Foil mold casting) реализуется путем заливки металлического расплава при нормальных условиях в литейную форму из металлической фольги с последующим охлаждением различными методами (2.2, гр. 2).

Литье в магнитную форму (Magnetic mold Casting) осуществляется в литейную форму, изготовленную из сыпучего ферромагнитного материала, которая находится во время заливки и кристаллизации под действием постоянного магнитного поля (2.3, гр. 2).

Литье в облицованный кокиль (Coated metal mold или Coated chill mold) выполняется путем заливки расплава при нормальных условиях в металлический кокиль, на внутренние рабочие поверхности которого нанесен слой формовочной смеси на термо- или холоднотвердеющем связующем (3.1, гр. 2).

Выводы

- Предложена классификация литейных технологий, которая построена по принципу форма-модель-внешнее воздействие. Данная классификация позволяет прогнозировать дальнейшее развитие литейных технологий исходя из современных требований потребителя отливок.

- Анализ развития литейных технологий показывает, что в связи с увеличением требований к качеству отливок и их эксплуатационным характеристикам, имеет место тенденция к переходу от единичных технологий к комплексным, которые объединяют несколько единичных технологий. В то же время следует отметить, что даже комбинация нескольких литейных технологий не обеспечивает кардинального повышения эксплуатационных свойств отливок. Вероятно, существенный прогресс в этом направлении может быть достигнут при совмещении литейных технологий с нанотехнологиями.



Список литературы

1. Гуляев Б. Б. Литейные процессы Машгиз. – М.-Л, 1960. – 416 с.
2. Специальные способы литья: Справочник /В. А. Ефимов, Г. А. Анисович, В. Н. Бабич и др.; Под общ. ред. В. А. Ефимова. – М.: Машиностроение, 1991. – 436 с.
3. Специальные методы литья. А. М. Сборщик. – Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2007. – 158 с.
4. ГОСТ 18169-86 Процессы технологические литейного производства. Термины и определения.
5. Ермаков М. П. Технология декоративно-прикладного искусства. Основы дизайна. Художественное литье. // Учебное пособие. –2013. – 396 с.
6. Дорошенко В. С. Изостатическое прессование затвердевающей отливки при литье по газифицируемым моделям. //Литье Украины. – №9 (193). – 2016. С. 15-18.
7. Цветное литье: Справочник/Н. М. Галдин, Д. Ф. Чернега, Д. Ф. Иванчук и др.; Под общ. ред. Н. М. Галдина. – М.: Машиностроение, 1989, – 528 с.
8. Зленко М. А. Аддитивные технологии в машиностроении / М. В. Нагайцев, В. М. Довбыш // Пособие для инженеров.– М. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» 2015, – 220 с.
9. ДСТУ 2541-94 Виробництво ливарне. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 1994.
10. Головаченко В. П., Борисов Г. П., Дука В. М., Вернидуб А. Г. Литье цветных металлов и сплавов в форму из металлической фольги // Процессы литья. –2012. – № 2 (92). – С. 40-44.



References

1. *Guliaev B. B.* (1960). *Liteinye protsessy. [Foundry processes]*. Mashgiz. Moscow-Leningrad. [in Russian].
2. *Efimov V. A., Anisovich G. A., Babich V. N.* et al. (1991). *Spetsialnye sposoby litia: spravochnik. [Special casting methods: Directory]*. Ed. by V. A. Efimova. Moscow: Mashinostroenie. [in Russian].
3. *Sborshchik A. M.* (2007). *Spetsialnye metody litia. [Special casting methods]*. Donetsk: GVUZ "DonNTU". [in Russian].
4. GOST 1816986. *Protsessy tekhnologicheskie liteinogo proizvodstva. Terminy i opredeleniia. [Technological processes of casting production. Terms and Definitions]*. [in Russian].
5. *Ermakov M. P.* (2013). *Tekhnologiya dekorativnoprakladnogo iskusstva. Osnovy dizaina. Khudozhestvennoe lite. [The technology of decorative and applied arts. Design Basics. Art casting]*. Uchebnoe posobie. [in Russian].
6. *Doroshenko V. S.* (2016). *Izostaticheskoe pressovanie zatverdevaiushchei otlivki pri lite po gazi-fitciruемым modeliam. [Isostatic pressing solidification with lost foam casting]*. Lite Ukrainy, № 9 (193), pp. 1518. [in Russian].
7. *Galdin N. M., Chernega D. F., Ivanchuk D. F.* et al. (1989). *Tsvetnoe lite: Spravochnik. [Nonferrous Cast: A Handbook]*. Ed. by Galdina N. M. Moscow: Mashinostroenie. [in Russian].
8. *Zlenko M. A., Nagaitcev M. V., Dovbysh V. M.* (2015). *Additivnye tekhnologii v mashinostroenii. Posobie dlia inzhenerov. [Additive technologies in mechanical engineering]*. Moscow: GNTc RF FGUP "NAMI". [in Russian].
9. DSTU 254194. *Virobnitctvo livarne. Terminy ta viznachennia. [Production Foundry. Terms and Definitions]*. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy, 1994. [in Ukrainian].
10. *Golovachenko V. P., Borisov G. P., Duka V. M., Vernidub A. G.* (2012). *Lite tsvetnykh metallov i splavov v formu iz metallicheskoj folgi. [Nonferrous metals and alloys in the form of a metal foil]*. *Protsessy litia*. № 2 (92), pp. 4044. [in Russian].

Поступила 23.10.2016