

УДК 661.63

О. И. Воронова

Одесский национальный политехнический университет, Одесса

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ И СПЛАВОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВСТАВОК ПРЕСС-ФОРМ ДЛЯ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Литье под давлением является прогрессивным методом производства заготовок, однако его существенными недостатками являются сложность и дороговизна изготовления формообразующей оснастки. Были изучены как различные сплавы, так и способы получения вставок пресс-форм. Оптимальным материалом вставки пресс-формы для литья высокотемпературных сплавов на основе меди (латунь ЛС-59) выбрана сложнелегированная инструментальная сталь 40Х5МФС. При проведении сравнительной оценки способов изготовления предложена технология литья в керамизированный кокиль по керамическим армированным стержням с принудительным охлаждением и вакуумированием рабочей полости. Проведенные исследования и промышленные испытания вставок пресс-форм, изготовленных по предложенной технологии, доказали ее экономическую целесообразность.

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

Литво під тиском є прогресивним методом виготовлення заготовок, але його суттєвим недоліком є дефіцитність та велика вартість складнолегованих сталей, з яких виготовляється оснастка. Були досліджені як різні сплави, так і способи отримання вставок прес-форм. Оптимальним матеріалом вставки прес-форми для лиття високотемпературних сплавів на основі міді (ЛС-59) обрана складнолегована інструментальна сталь 40Х5МФС. При проведенні порівняльної оцінки способів виготовлення пропонується технологія лиття в керамізований кокиль по керамічним стрижням з примусовим охолодженням та вакуумуванням робочої порожнини. Проведені дослідження та промислові випробування вставок прес-форм, виготовлених за технологією, що пропонується, доказали її економічну доцільність.

Ключові слова: формоутворююча оснастка, керамізований кокиль, інструментальна сталь.

Die casting is a progressive method of billets production with a significant drawback, however, being the complexity and high cost of manufacturing shape-generating tools. Various alloys and methods of obtaining molding inserts have been studied. Complex alloyed tool steel 40X5MFC was selected as the optimal material for molding inserts to cast high-temperature alloys on copper (brass ЛС-59). The technology of casting to ceramic chill through ceramic reinforced cores with forced cooling and degassing of the working cavity was suggested, when carrying out comparative evaluation of the manufacturing methods. The investigations and performance tests of molding inserts manufactured according to the suggested technology have proved its economic expediency.

Keywords: molding inserts, ceramic chill, tool steel.

Литьем под давлением получают наиболее качественные отливки, однако дальнейшее развитие этого способа литья тормозится из-за низкой стойкости и высокой стоимости оснастки, которые формируют отливку. Для решения этой проблемы необходимо выбрать оптимальный способ получения вставок пресс-форм и наиболее благоприятный оптимальный химический состав материала для них в зависимости от условий эксплуатации.

Известны такие способы получения формообразующей оснастки, как механическая обработка, электроэрозионное выжигание, методы пластической деформации и порошковой металлургии, литье специальными способами,

ультразвуковая и электронно-лучевая обработки и т. д. На сегодняшний день наиболее широко используют метод механической обработки и электроэрозионное выжигание.

Метод механической обработки поковок из сложнолегированных инструментальных сталей, как наиболее исследованный и детально разработанный, применяется в промышленности уже достаточно давно. Этот метод совместно с соответствующей термической или химико-термической обработкой позволяет получать оснастку с мелкозернистой структурой мартенсита, которая имеет высокие физико-механические свойства. Однако, он имеет ряд недостатков, которые существенно влияют на рентабельность изготовления отливок, производимых литьем под давлением. При механической обработке необходимы: во-первых, высококвалифицированная рабочая сила, то есть значительные расходы на заработную плату; во-вторых, дорогостоящий режущий инструмент, который расходуется в значительном количестве. Кроме того, при механической обработке в отходы поступает большое количество ценной инструментальной стали в виде стружки. Достаточно часто рабочая поверхность вставки, контактирующая с расплавом, имеет дефекты в виде следов от режущего инструмента, которые во время эксплуатации становятся концентраторами напряжения и центрами появления трещин и приводят к преждевременному выходу из строя вставок пресс-форм.

Метод электроэрозионного выжигания углеродными электродами формообразующей полости дает возможность получать гладкую поверхность разнообразной конфигурации вставок пресс-форм, что значительно упрощает процесс их изготовления, который, однако, является достаточно энергоемким, при этом также образуется большое количество отходов сложнолегированных инструментальных сталей, которые растворены в электролите и не подлежат последующей утилизации. Также недостаточно изучено, какое влияние процесс выжигания оказывает на структуру и свойства поверхностного слоя рабочей полости вставки.

Наиболее оптимальными с учетом всех достоинств и недостатков являются способы литья с применением различных методов устранения дефектов литой структуры (неоднородности и крупнозернистости): в первую очередь, это литье в шликерные формы, литье по керамическим армированным стержням и литье в керамизированный кокиль.

Литье по керамическим стержням и в керамизированный кокиль, рабочая поверхность которых покрыта также тонкодисперсной керамической оболочкой на основе этилсиликата, позволило получить отливку вставки с низкой шероховатостью поверхности (по 6 классу ГОСТа 1789-89), на которой практически отсутствовал обезуглероженный слой.

При изготовлении вставок решали задачу получения качественного расплава заданного химического состава без газовых и неметаллических включений. Для достижения мелкозернистой и однородной структуры отливки вставки пресс-формы, которая обеспечивает соответствующие физико-механические свойства, использовали комплексную обработку расплава (предварительное раскисление ферромарганцем, ферросилицием и силикокальцием, комплексное модифицирование, продувку инертным газом, принудительное охлаждение кокиля, подогрев прибыли и др.).

Если в конце плавки из печи выпустить сталь нераскисленной, то между оставшимся углеродом и кислородом произойдет реакция. Образовавшаяся при этом окись углерода частично уходит в атмосферу, а частично остается в стали в виде газовых раковин. Поэтому основной задачей является получение металла с минимальным содержанием кислорода. Задача раскисления, кроме снижения содержания кислорода, сводится еще и к снижению содержания серы в металле и изменению формы,

размера и характера распределения сульфидов, а также образованию соединений (окислов, сульфидов, нитридов), увеличивающих число центров кристаллизации, влияющих на размер первичного зерна и соответствующие физико-механические свойства стали.

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

Для модифицирования сплавов практическое значение имеют поверхностно-активные металлы, характеризующиеся низкой свободой поверхностной энергии в жидком состоянии на границе с воздухом, то есть минимальными силами сцепления в жидком состоянии, а следовательно, и более низкими температурами кипения (плавления) и твердостью. При этом поверхностная активность металла как модификатора определяется его способностью адсорбироваться на границе расплав-кристалл и характеризуется величиной понижения поверхностной энергии на этой границе. Поверхностная активность модификатора, присутствующего в расплаве, может быть определена по изменению его поверхностного натяжения. Наилучшие результаты при этом достигаются в том случае, когда модифицируемый расплав будет иметь более высокое поверхностное натяжение по сравнению с поверхностным натяжением расплавленного модификатора. Поверхностное натяжение оказывает значительное влияние на динамическую вязкость металлической жидкости, поэтому модифицирование одновременно улучшает литейные свойства сплавов.

Эффективными модификаторами первого и второго рода являются комплексные раскислители: алюминий, кальций, церий, бор, при которых измельчается структура металлической матрицы, улучшается форма неметаллических включений, повышаются жидкотекучесть и механические свойства. В состав комплексного модификатора входили ферроцерий, силикокальций и ферробор в оптимальном соотношении. Для устранения усадочных раковин и пористости, которые в значительной степени присущи сложнолегированным инструментальным сталям, и с целью экономии дорогостоящего сплава использовали термоизолированную закрытую прибыль, подогреваемую специальным термическим патроном.

Кроме оптимального выбора способа изготовления формообразующей оснастки на ее себестоимость и стойкость не меньшее влияние оказывает правильный выбор материала для вставки пресс-формы. При выборе материала, в первую очередь, необходимо учитывать вид сплава, из которого будут получать отливки, так как механизм разрушения пресс-формы при литье конкретных сплавов различен. Хотя на процесс эксплуатации оснастки влияет большое количество факторов, взаимодействие которых учесть достаточно сложно, можно выделить основные. Формообразующая оснастка перестает отвечать требованиям в основном по трем причинам: термической усталости, формоизменениям и износу.

Для расчета оптимального выбора материала проводили оценку стойкости и стоимости материалов, а также рассчитывали комплексный показатель цена-качество (табл. 1).

Термостойкость рассчитывали по известным критериям с учетом химических и физико-механических свойств сплавов при температурах от 20 до 1000 °С и экспериментально исследовали на опытных образцах. Стойкость оценивали по 10-балльной шкале, по которой наивысшую стойкость показывали молибденовые сплавы (ЦСДМ1).

Стоимость материалов определяли также по 10-балльной шкале в соответствии с усредненным значением рыночной цены.

Как видно из табл. 1, наилучшим показателем обладают сплавы на основе молибдена, но, учитывая их высокую стоимость, применять целесообразно

Таблица 1. Комплексная оценка материалов для вставок пресс-форм

Материал	Стойкость, баллы	Стоимость, баллы	Показатель цена-качество
30X2B8Ф	4,10	4,67	0,87
30X2B8K5Ф	3,40	5,23	0,65
30X5МФС	2,30	2,80	0,82
30X10B4M5K3Ф1ГС	3,82	5,46	0,70
40X5МФС	2,80	2,93	0,96
Молибденовые сплавы	10,00	10,00	1,00
Медные сплавы	8,50	9,06	0,93
Ниобиевые сплавы	5,67	6,67	0,85

только при больших объемах производства отливок узкой номенклатуры, так как значительная стоимость формообразующей оснастки через амортизационные отчисления накладывается на себестоимость изготовления годных отливок. Медные и ниобиевые сплавы имеют ограниченную область применения, связанную с температурным режимом эксплуатации постоянных металлических форм.

Для литья под давлением в пресс-формы сплавов с температурой плавления 700 °С и выше (алюминиевые сплавы, особенно латуни) лучше всего себя показали сложнелегированные инструментальные стали. Традиционной является сталь марки 3X2B8Ф, но значительное количество дорогостоящего и дефицитного вольфрама в ее составе увеличивает стоимость и ограничивает ее использование.

Наилучшим соотношением цена-качество среди аналогичных инструментальных сталей обладает сталь 40X5МФС, в которой дорогостоящий вольфрам заменен на комплекс молибден-кремний. Вставки пресс-форм, которые изготавливали из этой инструментальной стали, показали достаточно высокую термическую стойкость при литье в них латунных сплавов с температурой плавления 950-1050 °С.

Стали марки 3X2B8K5Ф и мартенситно-старяющиеся стали (3X10B4M5K3Ф1ГС) рекомендуется применять в низкотемпературных областях, например, для литья сплавов на основе цинка, магния и алюминия. Повышенная стоимость в этом случае компенсируется увеличением срока службы формообразующей оснастки вследствие невысоких температур эксплуатации.

На основе приведенных исследований выбрали инструментальную сталь 40X5МФС, из которой изготавливали вставки пресс-форм методами литья в керамизированный кокиль с использованием керамических армированных стержней. Полученные отливки исследовали на физико-механические свойства (испытания на разрыв и ударную вязкость), определяли структуру и фазовый состав, проводили производственные испытания на термостойкость. Структура и механические свойства после проведения соответствующей химико-термической обработки удовлетворяли тем же требованиям, которые предъявляются к кованным сталям. При этом технология литья позволяла утилизировать вышедшие из строя вставки многократным переплавом, что значительно снижало их себестоимость.

Таким образом, себестоимость формообразующей оснастки из стали 40X5МФС, полученная методом литья, была ниже, чем себестоимость при изготовлении методами механической обработки и электроэрозионного выжигания. В табл. 2 дана сравнительная характеристика затрат на изготовление вставки пресс-формы по изменяющимся статьям калькуляции в процентах. За 100 % приняты затраты по литейной технологии.

Исследования методов и сплавов, которые используются для изготовления

Таблица 2. Затраты на изготовление вставок пресс-форм различными методами

Статьи затрат	Механическая обработка	Точное литье	Электро-эрозионное выжигание
На основные материалы	20,696	10,675	20,695
На вспомогательные материалы	–	0,413	0,244
На модельно-стержневую оснастку и режущий инструмент	20,410	0,321	2,444
На заработную плату	97,116	77,298	81,480
На текущий ремонт и обслуживание оборудования	1,514	0,382	1,829
На электроэнергию	3,684	8,757	9,397
На амортизацию оборудования	1,411	1,866	1,381
На амортизацию производственных площадей	0,128	0,285	0,085
Всего, %	144,982	100,00	117,573

вставок пресс-форм для литья под давлением, с целью оптимизации и интенсификации процесса подтвердили целесообразность изготовления формообразующей оснастки методами точного литья из стали 40X5МФС, что позволяет рекомендовать их для промышленного применения.



Список литературы

1. Липтуга И. В., Ясюков В. В., Воронова О. И. Технология изготовления литых вставок пресс-форм. – М.: Машиностроитель. – 1989. – № 1.
2. Воронова О. И., Липтуга И. В. Факторы разрушения форм литья под давлением при термочиклировании. // Литейн. пр-во. – М.: 1996. – № 7.
3. Воронова О. И., Меланьин О. А. Влияния технологии плавки на свойства и стойкость точнолитой оснастки из сложнлегированных сталей. – Металлообработка. М.: 2009. – № 1 (109).

Поступила 11.05.2014