Первая задача, которую решает предлагаемая программа, – это определение цеха или участка, которые ответственны за сбой в работе технологической цепочки. Для этого экспертная система в режиме реального времени сопоставляет пороговые значения «Светофора» с текущими значениями (количеством выявленных несоответствий за смену на том или ином участке).

Вторая задача – определение наиболее вероятной причины сбоя на конкретном участке. Для этого экспертная система в режиме реального времени сопоставляет значения «Светофора» с соответствующими значениями выявленных несоответствий. Определив место сбоя, программа выдает предполагаемые причины появления продукции, не отвечающей требованиям, в соответствии с разработанным классификатором. Таким образом, корректирующие и предупреждающие действия могут быть направлены на конкретные технологические операции.

Преимущества созданной информационной системы заключаются в том, что она позволяет оперативно реагировать на увеличение отклонений от технологического процесса, прогнозировать потери по браку, применять все методы статистического анализа.

С помощью данной информационной системы было, например, установлено, что около 80% потерь предприятия обусловлено дефектами: засорами, горячими трещинами, пленами. Были установлены и основные факторы, влияющие на появление брака: опыт, смена, квалификация, подготовка рабочего места, режим сушки форм и стержней, уплотнение формы, сборка формы, время выдержки форм до заливки, температура металла, исходные материалы для смесей, смесеприготовление, транспортировка и бункерное хранение смесей.

Наличие базы данных о причинах образования дефектов позволяет быстро скорректировать процесс и устранить появление брака.

С. В. Рабинович, М. Д. Харчук,
В. И. Черменский, Е. И. Черевко

ОПЫТ ЦЕНТРОБЕЖНОГО И КОКИЛЬНОГО ЛИТЬЯ СУПЕРИНВАРНЫХ СПЛАВОВ

Ранее нами было освоено производство отливок из суперинварного сплава 32НКБЛ для оправ силовых лазеров и шпангоутов летательных аппаратов литьем в песчаные формы и в кокиль. Отливки представляют со-

бой соответственно цилиндрические кольца и трубы диаметром от 100 до 500 мм с толщиной стенки до 30 мм. В настоящее время из сплава 32НКБЛ и новых сплавов 32НКХБЛ, 32НКХБЛ1 и 32НКМБЛ совместно с предприятием НПЦ «Линвар» налажено изготовление таких отливок оптимальным с технологической точки зрения способом – центробежным литьем на установке с горизонтальной осью вращения (таблица).

Химический состав литейных суперинварных сплавов

Сплав	Массовая доля элементов,%										
	Ni	Co	Nb	РЗМ	Cr	Mo	Mn	Si	C	S	P
							Не более				
32НКБЛ2	32,0–33,5	3,2–4,2	0,4–0,6	0,04–0,20	–	–	0,4	0,15	0,05	0,02	0,02
32НКХБЛ3	32,0–33,5	6,0–7,0	0,3–0,5	0,05–0,20	0,1–0,2	–	0,4	0,20	0,05	0,02	0,02
32НКХБЛ3-1	32,0–33,5	7,0–8,0	0,3–0,5	0,05–0,20	0,1–0,2	–	0,4	0,20	0,05	0,02	0,02
32НКМБЛ4	31,0–33,0	8,1–9,3	0,25–0,5	0,04–0,25	–	0,15–0,30	0,4	0,20	0,05	0,02	0,02

Примечания:

1. Содержание редкоземельных металлов: церия, лантана, празеодима, неодима – обеспечивается введением в сплав цериевых мишметаллов в количестве 0,20–0,30% от расчетной массы шихтовых материалов. Суммарное содержание церия и лантана в мишметалле не должно быть ниже 65% от его массы.
2. Содержание железа в каждом сплаве – остальное.
3. ТУ В3-27-85.
4. ТУ 4112-001-32115414-01.
5. ТУ 4112-002-32115414-04.

Были рассчитаны ориентировочные частоты вращения изложницы по эмпирической формуле

$$n = \frac{5520}{\sqrt{\gamma \cdot r}} + (0 \div 80),$$

где n – частота вращения, об/мин;

γ – плотность расплава, г/см^3;

r – радиус внутренней поверхности отливки, см.

Расчетные значения n составили ряд от 950÷870 до 470÷390 об/мин соответственно для отливок диаметром от 100 до 500 мм.

Не менее важным параметром является температура заливаемого металла. Правильный выбор температуры заливки ($T_{зал}$) обеспечивает необ-

ходимое заполнение формы металлом, повышенная $T_{зал}$ может привести к образованию газовых раковин, увеличению пригара и структурной неоднородности отливок.

Экспериментальные заливки позволили уточнить значения n и $T_{зал}$, обеспечивающие получение центробежно-литых заготовок без характерных дефектов: трещин, газовых раковин, разностенности, слоистости. Для заготовок диаметром 100 мм, отливаемых в стальной изложнице (ее внутренняя поверхность предохранялась от взаимодействия с жидким металлом сыпучим покрытием – слоем песка толщиной 2–5 мм), оптимальная частота вращения составила 850–870 об/мин, а температура заливки – 1540–1560 °С. Для заготовок диаметром 400 мм при центробежном литье в изложнице, защищенной противопригарной краской, частота вращения составляла 480–500 об/мин, а температура заливки – 1540–1560 °С.

Условия формирования компактной струи заливаемого металла, уменьшения ее разбрызгивания, получения необходимого расхода металла находили опытным путем для каждого типоразмера отливок. Были определены соответствующие параметры литникового канала (диаметр и длина) в заливочном устройстве машины и тем самым практически обеспечена необходимая связь между частотой вращения (n), линейной скоростью кольцевого потока ($v_{ср}$) вдоль изложницы, весовой скорость металла (Q) и диаметром отливки (D) по модели, представленной в диссертации Р. И. Силина[1]:

$$v_{cp} = 35{,}4 \cdot 10^{-2} \cdot n^{0{,}31} \cdot \frac{Q^{0{,}81}}{D^{0{,}61}}.$$

Опробовано литье вновь разработанных суперинварных сплавов в кокиль. Экспериментальные заливки показали, что режимы кокильного литья заготовок кольцевого типа из сплавов 32НКХБЛ, 32НКХБЛ1 и 32НКМБЛ практически не отличаются от режима литья сплава 32НКБЛ. Данные о литье в кокиль заготовок диаметром ~400 мм из сплава 32НКМБЛ приведены ниже.

Литейные свойства сплава марки 32НКМБЛ:

- жидкотекучесть по комплексной U-образной пробе – 111 мм;
- линейная усадка – 2,3%.

---

[1] *Силин Р. И.* Влияние некоторых технологических факторов на качество поверхности и продольную разностенность центробежно-литых труб малых диаметров: Дис. … канд. техн. наук / Урал. политехн. ин-т. Свердловск, 1975.

Параметры кокиля:

- тип – вытряхной с песчаными стержнями;
- материал – чугун СЧ15;
- толщина рабочей стенки – 40 мм;
- теплозащитное покрытие – краска на жидком стекле;
- охлаждение – естественное на воздухе без обдува;
- температура нагрева перед заливкой – 150–200 °С;
- стойкость – более 100 заливок.

Параметры литья:

- тип литниковой системы – верхняя;
- соотношение площадей сечений питателей, литникового хода и стояка – 1:1, 1:1,2;
- температура заливки – 1540–1560 °С;
- продолжительность заливки – 20–30 с;
- скорость подъема жидкого металла в кокиле – 12±2 мм/с.

С. В. Рабинович, М. Д. Харчук,
В. И. Черменский, И. В. Кончаковский,
М. Ю. Русин, А. С. Хамицаев

ЛИТЕЙНЫЙ ИНВАРНЫЙ СПЛАВ 31НКМЛ

Прецизионный литейный сплав, обладающий низким тепловым расширением при повышенных температурах, разработан с целью использования в летательных аппаратах, оптоэлектронной, лазерной технике, прецизионном приборостроении и в других областях, в частности для изготовления деталей, работающих в контакте с неметаллами, например кварцем, кремнием, карбидом кремния.

Известные прецизионные сплавы на основе железа, обладающие низким температурным коэффициентом линейного расширения (ТКЛР) в температурных интервалах 20–400, 20–500 °С, являются не литейными, а деформируемыми, и из них нельзя из-за низкой трещиноустойчивости изготавливать фасонные отливки.

Созданные ранее прецизионные литейные сплавы, обладающие достаточной трещиноустойчивостью для изготовления сложных фасонных отли-