



*Prospects of technology Cold-box-amin for mass production of cores by computer approach in all spheres of machine-building are shown.*

А. П. МЕЛЬНИКОВ, НП РУП «Институт БелНИИлит»

УДК 621.74

## ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТЕРЖНЕЙ В МАССОВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ ОТЛИВОК

Процессы изготовления литейных песчаных стержней, занимающие важное место (около 25% от всей трудоемкости) в процессе получения отливки, постоянно совершенствуются. Это объясняется как растущими требованиями к качеству самих стержней, так и общими тенденциями повышения сложности, тонкостенности и точности литых деталей наряду с требованиями минимизации трудовых затрат и защиты окружающей среды.

При изготовлении внутренних стержней крупносерийных и массовых отливок приоритетными являются высокопроизводительные машинные способы стержневого производства. На стержневых пескодувных и пескострельных автоматах изготавливают более 90% всех стержней, задействованных в производстве серийных отливок. Для производства стержней машинными методами используется порядка десяти основных технологических процессов, каждый из которых имеет многочисленные разновидности, подвиды и модификации. Каждая технология имеет свои достоинства и недостатки, определяющие объемы ее применения и область рационального использования.

На предприятиях Республики Беларусь с серийным характером производства наиболее широко распространены технологические процессы получения литейных песчаных стержней с отверждением их в нагреваемой оснастке [1], так называемые Hot-box- и Croning-процессы. В литейной промышленности республики было задействовано 143 стержневые машины различных моделей для производства стержней по технологии Hot-box (58% от общего объема производства (ООП)); 10 стержневых машин мод. 29111 и 29113 для производства стержней по технологии Croning (3% от ООП); 60 пескодувных машин мод. 2Б83, 310, ДС-3С и другие для изготовления стержней по сы-

рому (технология «тепловая сушка», 18% от ООП). 21% стержней от ООП изготавливался по технологиям ЖСС и маложивучих ХТС [2]. Используемые по технологиям «горячего» отверждения стержней в оснастке стержневые машины задействованы на крупных предприятиях республики: на РУП «МАЗ» было установлено 36 стержневых машин, РУП «МТЗ» – 45, ПРУП «ММЗ» – 9, ОАО «МЗОО» – 12, РУП «Завод литья и нормалей» – 8, РУП ГЛЗ «Центролит» – 1, РУП «Гомельский завод сельскохозяйственного машиностроения «Гомсельмаш» – 6, УРП «Могилевский автозавод им. Кирова» – 6, ОЗАА – 9, на других заводах республики – около 10 машин.

Аналогичная картина распределения структуры применяемых технологий наблюдалась вплоть до конца XX в. и на заводах Украины и Российской Федерации с той лишь разницей, что суммарное количество эксплуатируемых в этих странах стержневых машин было на порядок большим, чем в Республике Беларусь.

Применяемая в промышленности с 1960 г. технология изготовления стержней в нагреваемой оснастке в свое время позволила заменить тяжелый ручной труд стержневщиков, работающих по технологии «тепловая сушка», на высокопроизводительный машинный способ получения стержней [3]. Действительно, по сравнению с методами изготовления сырых стержней с последующей тепловой сушкой технология Hot-box обладает целым рядом важных преимуществ, основными из которых являются:

- высокая производительность (определяется возможностью полной автоматизации процесса и достаточно коротким временем отверждения стержней);
- более высокая размерная точность стержней, отверждаемых непосредственно в оснастке;

- отличные рабочие свойства стержневых смесей и готовых стержней (достаточная живучесть смеси, высокая прочность стержней, низкая газотворность и хорошая газопроницаемость, длительный срок хранения готовых стержней и др.).

Однако методы изготовления стержней в нагреваемой оснастке имеют и существенные недостатки:

- экологические – в результате нагрева стержневой смеси на стадии изготовления стержней в воздух рабочей зоны выделяется значительное количество вредных газовывделений, в том числе формальдегид и фенол;

- технологические – в результате разогрева оснастки нарушается точность геометрических размеров стержня, происходит коробление оснастки; при изготовлении стержней с большим перепадом сечений необходимо учитывать их неравномерный прогрев и отверждение;

- экономические – высокие энергозатраты на нагрев стержневого ящика (на 1 т произведенных стержней расходуется 75–100 кВт·ч электроэнергии или 25–30 м<sup>3</sup> природного газа [4]).

В индустриально развитых странах к концу XX в. «горячие» процессы отверждения стержней окончательно были признаны устаревшими. Первостепенное внимание зарубежных специалистов было уделено процессам и оборудованию для изготовления стержней из холоднотвердеющих смесей с продувкой газообразными катализаторами. Промышленная эксплуатация таких процессов была начата в странах Запада в конце 60-х годов. Как свидетельствуют данные экспертных оценок уровня технологий производства стержней, в промышленно развитых странах на сегодняшний день 75–80% (а в автомобильной и моторной промышленности – порядка 90%) от общего объема производства стержней машинного изготовления производится вне нагреваемой оснастки по способам Cold-box. Выбор технологий Cold-box объясняется неоспоримыми технологическими, экономическими и экологическими преимуществами этих методов получения литейных песчаных стержней.

При анализе состояния стержневого производства в Республике Беларусь особо следует отметить факт крайне сильного износа парка основного стержневого оборудования. Так, более 80% от всего количества стержневых машин эксплуатируется более 30 лет. Подобная ситуация (износ стержневого оборудования 75–97%, средний срок эксплуатации – более 30 лет) характерна и для российской промышленности. Для сравнения следует отметить, что при средневропейском сроке обновления оборудования, равном 7 годам, сте-

пень износа стержневого оборудования в Западной Европе составляет менее 25% (при экспертной оценке порога экономической безопасности 50%) [5].

Таким образом, необходимость модернизации стержневого производства литейных цехов очевидна. Неразрывный узел проблем «качество отливки – качество продукции – прибыль от продажи продукции – инвестиции в производство – качество отливки» привел к значительному (в 2 раза и более) снижению общего объема производства большинства литейных цехов. Даже имея значительную часть незагруженных мощностей, многие предприятия на существующем технологическом уровне по причине низкой точности и качества отливок не могут сертифицировать свою продукцию по международным стандартам и в итоге вынуждены отказываться от выгодных зарубежных контрактов. Цифры говорят сами за себя – даже на фоне общих тенденций перемещения производства из стран Западной Европы в Восточную (в период 1990–2000 гг. за счет импорта из Восточной Европы производство отливок в Германии, Швеции, Франции снизилось на 30%) доля от всех импортируемых в Европу отливок из стран СНГ, по данным 1995–2000 гг., составила всего около 1% [2].

Был сделан сравнительный анализ технологий горячего и холодного отверждения стержней. Основными критериями технологических требований, учитываемыми при выборе процесса изготовления песчаных стержней, является комплекс рабочих свойств стержней и стержневых смесей: прочность, текучесть, живучесть, выбиваемость, кинетика газовывделений и газотворность, вероятность образования дефектов отливок с учетом требований, предъявляемых технологией производства конкретных литых заготовок.

При анализе экономических аспектов основными критериями являются: требуемая производительность процесса с учетом программы выпуска отливок, показатели себестоимости отливок – стоимость стержневой смеси и изготавливаемых стержней, брак стержней и отливок, стоимость капитальных вложений в оборудование и стержневую оснастку, стойкость оснастки, возможность регенерации песка и др. Кроме того, необходимо учитывать возможность экономии металла за счет повышения точности отливок (снижение припусков на механическую обработку). В настоящее время важным экономическим показателем является возможность сертифицирования продукции и производства согласно требованиям ISO, так как это ведет к повышению экспортных возможностей

Таблица 1. Сравнительная характеристика основных технологических параметров смесей горячего и холодного отверждения<sup>1</sup>

Процесс	Живучесть смеси, ч	Прочность на изгиб, МПа		Газотворная способность, см <sup>3</sup> /г
		30 с	24 ч	
Hot-box	> 4	1,8	5,4	7,0
Croning	практически не ограничена	2,0	6,0	12,0
Cold-box-amin	3-4	3,2	5,8	3,4
Эпокси-SO <sub>2</sub>	> 24	2,8	5,2	6,0
Betaset	3-4, отдельные материалы – до 24	1,6	2,5	3,0
Carbophen	3-6	0,6	1,8	8,2

<sup>1</sup> Приведены средние значения параметров стержней, предназначенных для изготовления чугунных отливок.

и конкурентоспособности изделия на внешнем рынке.

Основными экологическими факторами, учитываемыми при выборе технологического процесса, являются данные по объемам газовыделений в «холодной» стадии (смесеприготовление, операции по изготовлению стержней) и при заливке, охлаждении и выбивке отливок («горячая» стадия). Также необходимо учитывать возможность нейтрализации и утилизации образуемых отходов; возможные штрафные санкции служб экологического контроля; общие показатели условий труда рабочих.

Все рассматриваемые технологии горячего (Hot-box-, Croning-процессы) и холодного отверждения (Cold-box-amin, Эпокси-SO<sub>2</sub>, Betaset- и Carbophen-процессы) обладают общим важным достоинством, а именно, возможностью полной автоматизации процессов изготовления стержней.

Данные по живучести смеси, ее газотворной способности и прочности приведены в табл. 1.

По прочностным показателям сопоставимы процессы Hot-box, Croning, Cold-box-amin и Эпокси-SO<sub>2</sub>, причем процесс Cold-box-amin имеет более высокую начальную прочность, что повышает возможности по транспортированию и обработке этих стержней сразу после их изготовления, а также уменьшает брак стержней в момент их протяжки и извлечения из оснастки.

При оценке термостойкости стержней (а следовательно, оценке диапазона применимости процессов относительно материала отливок) и выбиваемости из залитых заготовок следует учитывать, что:

1. Технологии Hot-box и Cold-box-amin могут включать десятки различных комбинаций связующих материалов, обеспечивающих требуемые в каждом конкретном случае показатели термостойкости и выбиваемости.

2. Для процессов Croning, Betaset и Carbophen характерны высокие показатели термостойкости стержней. Однако выбиваемость таких смесей из

низкотемпературных отливок, особенно из цветных сплавов, как правило, затруднена.

Основные технологические преимущества всех холодных способов отверждения (технологии Cold-box) относительно горячих методов отверждения связаны с отличиями в температурном режиме затвердевания стержня. Для всех методов Cold-box характерно:

- отсутствие деформации стержней в ящике и при последующих технологических и транспортных операциях вследствие их отверждения по всему объему;
- высокая размерная точность стержней и отливок, обусловленная полным отсутствием вызываемого термическими напряжениями коробления стержней при их изготовлении, извлечении из оснастки и хранении;
- равномерное распределение прочности стержня по его сечению, вытекающее из объемного отверждения стержня при его продувке;
- возможность получения более сложных стержней, что исключает дополнительные технологические операции их сборки и склейки из отдельных частей;
- возможность изготовления стержней, сочетающих ажурные и массивные элементы;
- возможность изготовления моноблоков стержней и стержневых пакетов с точностью сборки 0–0,3 мм;
- возможность получения за счет проведения нескольких последовательных надувов крупных стержней, превышающих по объему емкость пескострельной головки.

В отличие от технологических возможностей методов Cold-box горячие способы отверждения стержней характеризуются пониженной точностью стержней и отливок. Это связано с температурной деформацией стержней и оснастки, что, как правило, является непреодолимым препятствием в сертификации качества литых заготовок по международным стандартам.

Таблица 2. Сравнительная характеристика оценки влияния технологий Cold-box на качество получаемых отливок

Показатель качества отливки	Технология получения песчаного стержня		
	Cold-box-amin	Эпокси-SO <sub>2</sub>	Betaset
Эрозия	2	1	1
Просечки	3	3	2
Чистота поверхности	2	3	3
Газовые дефекты	1	1	1
Пенетрация металла	2	2	4
Образование блестящего углерода	3	1	1
Выбиваемость	3	1	4

Помимо приведенного выше сравнительного анализа точности получаемых стержней и основных рабочих свойств стержневых смесей (их прочность, газотворная способность и термостойкость), при выборе оптимальной технологии Cold-box учитываются полученные практическим путем данные по ожидаемому влиянию изготовленных по различным процессам стержней на качество производимых с их применением отливок. Ориентировочные данные по возможным дефектам литья представлены в табл. 2. Сравнение процессов проведено по пятибалльной системе (1 – отлично, 5 – плохо).

Из данных табл. 1, 2 следует, что по суммарной оценке технологических свойств лучшие показатели имеют технологии Cold-box-amin, Эпокси-SO<sub>2</sub>.

При оценке экономической эффективности от внедрения той или иной технологии необходимо учитывать некоторое усложнение комплекса технологического оборудования, задействованного в «холодных» продувочных способах. Во всех способах Cold-box стержневые машины нужно оснащать специальным продувочным устройством, газогенератором, укрытием и установкой нейтрализации выбросов.

Кроме того, при оценке экономической эффективности вариантов модернизации производства с «горячих» на «холодные» технологии следует учитывать возможность использования уже имеющегося оборудования и стержневой оснастки, что существенно снижает величину капитальных затрат.

**Экологические аспекты.** При оценке экологической чистоты процессов производства литейных стержней необходимо учитывать, что в качестве катализаторов холодного отверждения связующего в технологиях Cold-box используются токсичные вещества: третичные амины, SO<sub>2</sub>, метилформиат. Процесс Carborphen выгодно отличается от других процессов экологической чистотой используемого катализатора – CO<sub>2</sub>. Процесс Betaset при использовании его для получения стержней массой до 30 кг специальных мер защиты не требует.

Исходя из степени опасности, оборудование, работающее по технологиям Cold-box-amin и Эпокси-SO<sub>2</sub>, должно обязательно оборудоваться вентилируемым укрытием. Наряду со специальной технологической схемой этих процессов, предусматривающей повышенную вентилируемость рабочего пространства, локализацию и отсос вредных газовыделений, их обязательную последующую нейтрализацию, этим достигается высокая экологическая чистота «холодной» стадии изготовления стержней (смесеприготовление, надув и отверждение стержней). Требования ПДК на этих переделах полностью выполняются.

В то же время при производстве стержней «горячими» методами Hot-Box и Croning в процессе их теплового отверждения в воздух выделяется значительное количество вредных веществ [6]. Причем, помимо исходных мономеров связующего (фенола, формальдегида и др.), в составе образующих газовыделений присутствуют и высокотоксичные продукты их термоокислительной деструкции. Как правило, при переходе от горячих к холодным методам отверждения стержней следует отметить улучшение экологических показателей и принципиальное улучшение условий труда рабочих в стержневых отделениях литейных цехов.

Подводя итог сравнительному анализу технологических, экономических и экологических параметров технологий горячего и холодного отверждения стержней, необходимо еще раз подчеркнуть безусловные преимущества холодных способов. В связи с этим при разработке проектов новых производств или модернизации действующих предприятий выбор способов горячего отверждения может быть оправдан лишь в случае применения минимального количества (1–2 шт.) малолитражных стержневых машин с небольшой номенклатурой оснастки и невысокими объемами производства. В остальных случаях применение холодных способов отверждения не вызывает сомнения. Именно эти факторы привели к тому, что в настоящее время во всех промышленно разви-

Таблица 3. Динамика изменения использования процессов Hot-box, Croning и Cold-box для изготовления стержней в литейных цехах США и Германии

Процесс	США, %		Германия, %	
	1980 г.	2000 г.	1980 г.	2000 г.
Croning	около 30	15	около 20	10
Hot-box	около 20	10	около 30	10
Cold-box	около 15	65	около 15	70

тых странах практически нет альтернативы холодным процессам изготовления стержней (табл. 3).

Обобщая технологические, экономические и экологические показатели различных способов Cold-box, следует отметить особую перспективность технологии Cold-box-amin в отношении массового производства стержней машинным способом во всех отраслях машиностроения. Предпочтительность метода Cold-box-amin заключается в следующем:

- технология проверена многолетней практикой и хорошо изучена теоретически;
- по всему комплексу технологических параметров процесс не уступает другим стержневым технологиям и может быть использован при производстве отливок из стали, чугуна и цветных сплавов;
- высокое качество получаемых отливок соответствует всем требованиям международной сертификации продукции и производства;
- высокие объемы применения метода Cold-box-amin за рубежом сопутствуют постоянному поиску новых, более качественных связующих материалов и добавок. Промышленностью разработаны десятки модификаций связующего, позволяющие решать любые технологические задачи. Последние разработки химиков позволили, например, за счет сочетания растительных и кремнийорганических растворителей и малотоксичной основы смолы наряду со значительным улучшением технологических параметров (низкая прилипаемость

смеси к оснастке, уменьшение дефектов отливок из-за эрозии или просечек, более высокая термостойкость) добиться значительного снижения газовыделений на «горячей» стадии процесса;

- метод Cold-box-amin наиболее экономичен в применении;
- при соблюдении правил эксплуатации и вентиляции производственных помещений процесс по экологическим показателям соответствует всем экологическим нормам и правилам;
- в отличие от других процессов Cold-box метод Cold-box-amin на сегодняшний день не имеет ни одного фактора, препятствующего его дальнейшему развитию (Эпокси-SO<sub>2</sub> – самая плохая экологичность и технологическая сложность применения вызывающего коррозию SO<sub>2</sub>; Betaset – низкая прочность стержней и плохая регенерируемость песка; Carbophen – очень низкая прочность и ограниченная производительность процесса).

В настоящее время соотношение объемов применения методов Cold-box в промышленно развитых странах выглядит следующим образом:

- Cold-box-amin – 75–80% (в автомобиле- и моторостроении – до 90%);
- Эпокси-SO<sub>2</sub> – 4–5%;
- Betaset – 2–3%;
- Carbophen – 6–10%;
- прочие (Red-set и др.) – 2–7%.

Как свидетельствуют многочисленные примеры производственной практики [7], абсолютное большинство статей калькуляции себестоимости

Таблица 4. Сравнительная характеристика основных показателей экономической эффективности горячих и холодных способов отверждения стержней (сопоставимые %)

Показатель экономической эффективности	Способ отверждения	
	«холодный»	«горячий»
Производительность стержневой машины	120–200	100
Затраты на связующие и вспомогательные материалы	110	100
Затраты на изготовление нового комплекта стержневой оснастки (в зависимости от материала оснастки)	10–80	100
Затраты на эксплуатацию и ремонт стержневой оснастки	20–30	100
Транспортно-складские расходы, связанные с изготовлением стержней	60	100
Расходы на топливо-энергетические ресурсы	10–20	100
Затраты на захоронение отходов стержней	10–20	100
Потери от брака стержней при изготовлении и сборке	10–20	100
Потери от брака отливок	10–50	100

Таблица 5. Технологическое оборудование, поставленное в 2000–2008 гг. предприятиям-заказчикам для производства стержней по Cold-box-amin- процессу

Наименование оборудования	Предприятия-заказчики					
	ОАО «Автодизель», г. Мариуполь, ед.	РУП «МТЗ», г. Минск, ед.	ЗАО «Азовэлектросталь», г. Мариуполь, ед.	ОАО «Тутаевский моторный завод», ед.	РУП «МАЗ», г. Минск, ед.	ОАО «КМПО», г. Казань, ед.
Стержневая машина мод. 4747Б2К1	5	6	3	2	1	–
Стержневая машина мод. 4752К1	–	–	1	–	–	1
Стержневая машина мод. 4760Б2К1	–	2	–	–	–	–
Стержневая машина мод. 4709Б2	–	1	–	–	–	–
Установка смесеприготовления П1863	–	1	2	–	–	–
Установка смесеприготовления П1739/С1С-150	1	–	–	–	–	–
Стержневая машина мод. 4751Б1К2	–	–	–	–	1	–
Установка смесеприготовления мод. П1739/800	–	–	–	–	–	1
Всего	6	10	6	2	2	2

Таблица 6. Потребность предприятий Республики Беларусь в современном оборудовании в 2009–2010 гг.

Предприятие	Оборудование, ед.	
	стержневое	смесеприготовительное
РУП «МТЗ»	9	4
РУП «МАЗ»	5	5
УП «МоАЗ»	2	–
РУП «ГЗЛиН»	3	1
РУП «ММЗ»	3	–
ОАО «ОЗАА»	4	–

Таблица 7. Прогноз экспортных поставок современного оборудования из Республики Беларусь в 2009–2010 гг.

Страна	Оборудование, ед.	
	стержневое	смесеприготовительное
Россия	12–15	2
Украина	8–10	–
Всего	20–25	2

лития для процессов Cold-box выглядят значительно привлекательнее по сравнению с методами «горячего» отверждения (табл. 4).

Таким образом, сравнительный анализ технологий изготовления стержней в массовом производстве отливок позволил разработать концепцию создания комплекса технологического оборудования. Она базируется на основе использования «холодных» процессов при изготовлении форм и стержней.

Только в 2005 г. экономический эффект от освоения технологического комплекса по производству стержней из ХТС с продувкой аминами составил более 1,2 млн. долл. США при общих

объемах капитальных затрат на создание комплекса 1,57 млн. долл. США. Экономия природного газа составила порядка 5 млн. м<sup>3</sup>/год, электроэнергии – 1 млн кВт·ч/год. Брак стержней снизился в 38 раз, отливок – в 10 раз. Масса отливок уменьшена в среднем на 0,8%. В результате окупаемость комплекса составила 1,2 года [5, 7–9].

Итоги внедрений и использования новых технологий в стержневом производстве приведены в табл. 5.

В настоящее время наблюдается некоторое ускорение процессов перехода на новые технологии в изготовлении стержней. Перспектива этого направления приведена в табл. 6, 7.

### Литература

1. Куракевич Б. В., Мельников А. П. и др. Универсальная гамма стержневых машин для производства песчаных стержней с отверждением в нагреваемой оснастке // Литье и металлургия. 2001. № 4. С. 18–21.
2. Кукуй Д. М., Марукович Е. И., Мельников А. П. Основные тенденции развития литейного производства Республики Беларусь // Литье и металлургия. 2000. № 3. С. 12–17.
3. Куракевич Б. В., Мельников А. П., Пасюк Г. И. и др. Стержневые машины для производства песчаных стержней в нагреваемой оснастке // Литейное производство. 2002. № 1. С. 16–17.
4. Кудин Д. А., Куракевич Б. В., Мельников А. П., Пасюк Г. И. Технологии и машины для изготовления стержней из песчано-смоляных смесей, отверждаемых продувкой газообразными отвердителями // Литье и металлургия. 2000. № 4. С. 88–90.
5. Кудин Д. А., Кукуй Д. М., Куракевич Б. В., Мельников А. П. Технология и оборудование для производства стержней методом Cold-box-amin. Мн.: ООО «Новое знание». 2007.

6. Куракевич Б. В., Мельников А. П. и др. Ресурсосберегающие и малотоксичные технологии производства литейных песчаных стержней // Материалы Междунар. науч.-техн. конф. г. Минск, 25–27 ноября 1998 г.

7. Мельников А. П., Пасюк Г. И., Кудин Д. А., Сысоева Л. Р., Черапович А. В. Оборудование для изготовления стержней, повышающее качество литых заготовок и снижающее их себестоимость // Тр. восьмого съезда литейщиков России. Т. 2. г. Ростов-на-Дону, 23–24 апреля 2007 г. С. 17–27.

8. Шварц Е. Г., Пасюк Г. И., Куракевич Б. В., Мельников А. П. и др. Техническое переоснащение стержневого производства литейного цеха ПО «МТЗ» // Литейное производство. 2002. № 1. С. 35–38.

9. Мельников А. П. Энерго- и ресурсосберегающие технологии в литейном производстве // Литье и металлургия. 2007. № 2. С. 115–119.