

# 3 Тенденции развития современных технологий 4 изготовления стержней 5 по опыту немецкой фирмы Laempe

11 В статье описывается развитие технологий изготов-  
12 ления стержней начиная от первых опытов маши-  
13 нной формовки по появления и постоянного  
14 совершенствование самых современных техноло-  
15 гий, таких как Coldbox-Амин процесс и прототи-  
16 пирования стержней. Описаны технологические  
17 процессы и отрасли применения конкретных спо-  
18 совов изготовления стержней.

**Ключевые слова:** развитие литейного производ-  
ства, внедрение современных технологий, Coldbox-  
Амин-процесс, 3D печать.

19 The article describes the development of core-mak-  
20 ing technologies from the first experiments in  
21 machine molding to the introduction of the most modern  
22 technologies such as the Coldbox-Amin process and  
23 3D prototyping of cores. Technological processes and  
24 branches of application of specific core-making meth-  
25 ods are described.

**Keywords:** foundry development, introduction of mod-  
ern technologies, Coldbox-Amine-process, 3D printing.

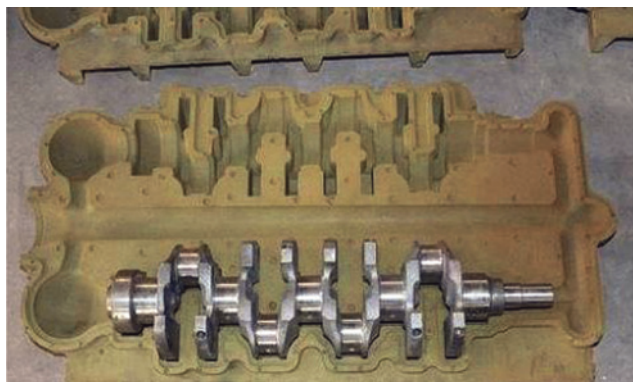
26 Историческое развитие технологий производ-  
27 ства песчаных стержней методом машин-  
28 ной формовки

29 Началом развития технологий производ-  
30 ства песчаных литейных стержней методом  
31 машинной формовки можно считать изобретение  
32 немецким инженером Йоганесом Кронингом «Shell»-  
33 или «Croning»-процесса в 40-х годах прошлого  
34 века. Своеобразным пиком исследований Кронинга  
35 является создание первых прототипов стержневых  
36 машин для серийного производства разовых оболоч-  
37 ковых форм из сухой смеси кварцевого песка  
38 и порошкообразного пульвербакелита. Этот  
39 метод для серийного производства стержней  
40 применяется и в настоящее время в мировой  
41 литейной промышленности, причем под тем  
42 же именем своего изобретателя. Его отличи-  
43 тельная особенность — заполнение нагретой  
44 до 220...240 °С металлической формообразу-  
ющей оснастки сухим «плакированным» но-  
волачной смолой кварцевым песком (рис. 1).

В результате теплообмена смола расплавля-  
ется, образуя мостики между песчаными зер-  
нами.

Еще в 1947 г. небезызвестный немецкий  
бренд Hottinger (с 2009 г. входит в группу  
Laempe) купил у Йоганеса Кронинга лицен-  
зию на применение данного метода в литей-  
ном производстве (рис. 1, 2) и начал разраба-  
тывать первые в мире стержневые машины,  
которые, начиная с 1949 г., поэтапно вне-  
дрялись на литейных заводах автомобильно-  
го концерна Volkswagen, постепенно заменяя  
повсеместно распространенный метод ручной  
формовки «масляных» стержней машинной  
формовкой. А начиная с 1951 г. необходи-  
мые для реализации данного процесса плаки-  
рованные пески начали поставляться в рам-  
ках отдельного лицензионного соглашения  
с основателем компании, называемой тогда  
«Gebrüder Hottinger» — сегодняшней Httenes-  
Albertus [1, 2].

Следующий существенный сдвиг в разви-  
тии стержневых технологий машинной фор-  
мовки — изобретение Coldbox-Амин-процесса  
в 1968 г. американцами Л. Ториелло и Дж. Ро-  
бинсом. В настоящее время Coldbox-Амин-  
процесс является самым массово применяе-  
мым в мировой литейной практике методом  
машинного производства стержней в нена-  
греваемой стержневой оснастке. При этом  
процессе стержневая смесь, состоящая из  
песка, полиуретановой смолы и полиизоциа-  
ната, перемешивается в вихревых смесителях,  
а потом подается в пескострельную головку  
стержневой машины. Отверждение смеси в  
смонтированной на машине формообразую-  
щей стержневой оснастке происходит только  
после ее продувки газообразным катализато-  
ром амином. Комплексные технологические  
свойства стержней в комбинации с положи-  
тельными экономическими показателями



**Рис. 1.** Пример 70-тых годов прошлого века из опыта Laempe изготовления отливок коленчатых распределителей в оболочковых формах по методу Shell (Croning) на стержневых машинах Hottinger (с 2009 г. входит в состав группы Laempe)

(холодные ящики, низкие энергозатраты, повышенная живучесть, высокая текучесть, быстрота отверждения, высокая манипуляционная прочность сразу после извлечения из стержневого ящика, хорошая выбиваемость особенно в случае производства отливок из черных сплавов) обуславливают лидирующую позицию Coldbox-Амин-процесса среди всех остальных методов серийного производства стержней методом машинной формовки [3—11].

В 80-тых годах прошлого века, в различной последовательности и параллельно с разработками стержневых машин, появлялись такие методы производства литейных стержней в нагреваемой стержневой оснастке, как

Hotbox и Warmbox, а также методы производства стержней в ненагреваемой оснастке, как например «ЖС-СО<sub>2</sub>», «фуран-СО<sub>2</sub>», «эпокси-СО<sub>2</sub>»-процессы, «Redset», «Betaset», и «Resol-СО<sub>2</sub>» (рис. 2). В этой связи уместно подчеркнуть, что ни один из этих методов не обеспечивает производство стержней с комплексными технологическими характеристиками, которые превосходят свойства стержней по Coldbox-Амин-процессу. По этой причине доля, которую каждый из этих методов занимает в мировом производстве стержней, не превышает 4...8% [12—15].

В настоящее время соотношение долей применения Coldbox-Амин- и Shell/Croning-процессов в мировой литейной промышленности составляет 5:1. Основное применение стержни по Coldbox-Амин-процессу находят при производстве отливок автокомпонентов (блоки, головки, тормозные диски), где доля их применения превышает 80% от всех производимых для этих типовых отливок стержней. Но стержни по Coldbox-Амин-процессу находят активное применение и в других отраслях промышленности, где для получения высокоточных отливок из цветных или черных сплавов требуются ажурные стержни с повышенной размерной точностью [16—18].

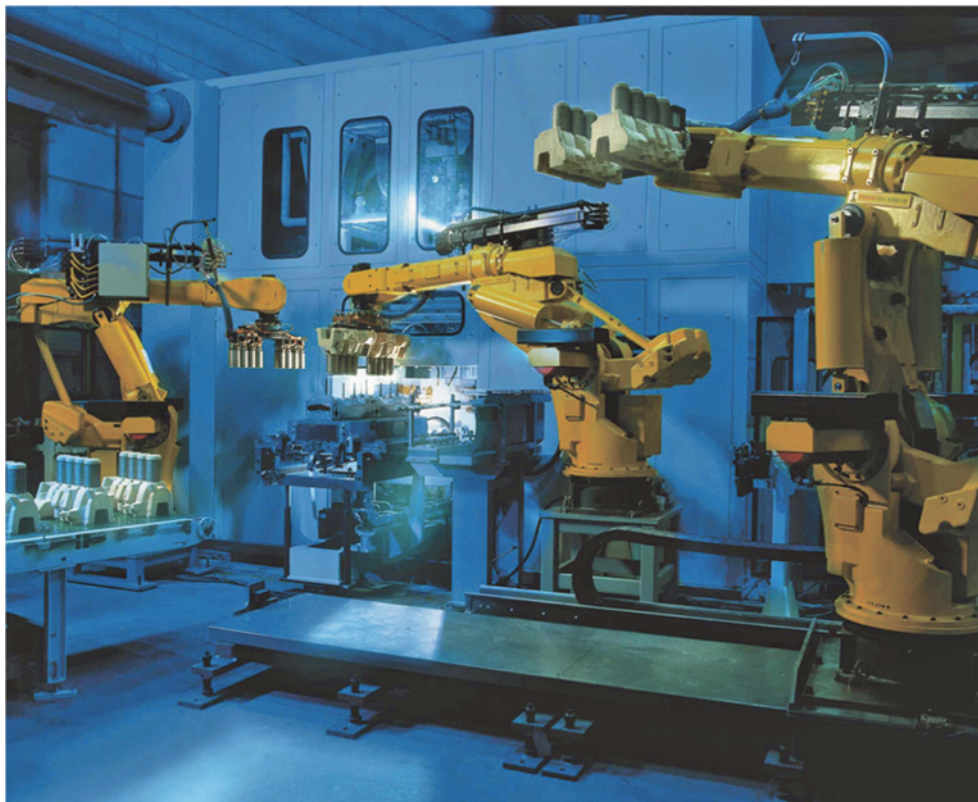
Активное внедрение технологий цифровизации и средств автоматизации производственных процессов в литейную промышленность, а также повышенные требования экологического законодательства промышленно развитых стран мира обуславливают



**Рис. 2.** Примеры 90-тых годов прошлого века из опыта Laempe применения метода пакетной формовки («литья в стержневых формах») для мелкосерийного производства отливок из ВЧ. Стержневые формы на фото слева произведены на стержневых машинах Rperwerk (с 2009 г. входит в состав группы Laempe) по методу Shell (Croning), а на фото справа — на пескострельных автоматах Laempe по «холодному» Resol-СО<sub>2</sub>-процессу



1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44



**Рис. 3.** Пример роботизированного стержневого участка Laempe для производства стержней по Coldbox-Амин-процессу процессу для алюминиевых отливок блоков 4-х цилиндрных двигателей Ford

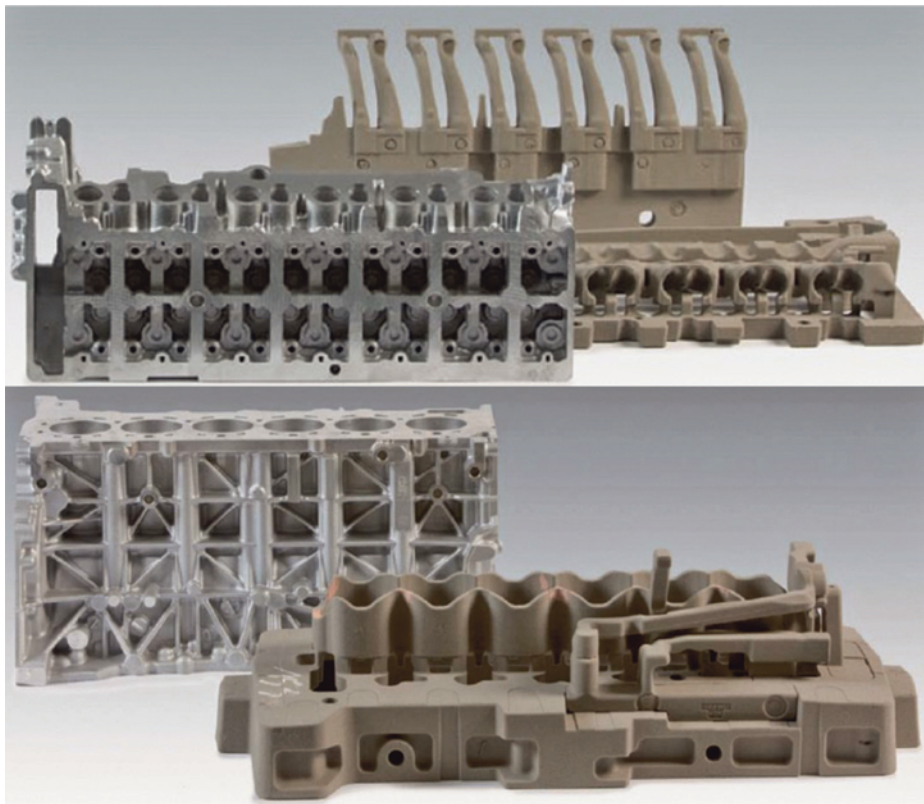
повышенные требования к экологическим и физико-химическим характеристикам изготавливаемых стержней. Это касается исключительно производителей литейной химии, которые обеспечивают снабжение мировой литейной промышленности подходящими связующими.

По этим причинам мировые лидеры в данной области — ASK Chemicals и Httenes-Albertus постоянно занимаются разработкой связующих систем с улучшенными технологическими и экологическими характеристиками для машинной формовки стержней как по «горячим», так и по «холодным» процессам, в основном для процесса Coldbox-Амин [4, 5, 19, 20, 21].

Важные результаты развития технологий машинной формовки были получены в 2001 г., когда фирмой Laempe было разработано связующее LKBinder на базе неорганических солей, чьим основным назначением было создание экологически чистых стержневых смесей для серийного производства сложных и высокоточных стержней, а также метод BeachBox для их производства на стержневых автоматах.

При разработанном и запатентованном фирмой Laempe процессе BeachBox стержневая смесь подается в пескострельную головку стержневого автомата, который оснащен электрической системой нагрева стержневого ящика до 120...180 °С. Отверждение стержневой смеси в стержневом ящике происходит в результате теплообмена с горячими поверхностями формообразующих элементов, а избыточная влажность удаляется продувкой стержневого ящика нагретым воздухом. Стержни, которые производятся по BeachBox-процессу, являются экологически чистыми, т.е. на участках смешивания, производства, заливки и охлаждения стержней и/или стержневых пакетов не выделяются вредные вещества, превышающие ДПК.

Манипуляционная прочность стержней достаточна для съема, транспортирования и сборки стержней в пакет. Комплексные технологические свойства стержней по BeachBox-процессу конкурируют со свойствами стержней по Coldbox-Амин-процессу, но их применение в мировом литейном производстве пока освоено в основном только для отливок из алюминия в условиях серий-



**Рис. 4.** Примеры экологически чистых стержней по BeachBox-процессу, а также алюминиевые отливки, для производства которых они предназначены [22, 23]

ного производства (рис. 4, 5). За последние 10 лет создана широкая гамма современных вариантов неорганических связующих для BeachBox-процесса. Ведущие производители и поставщики связующих для данного метода изготовления стержней — ASK Chemicals и Httenes-Albertus [22—25].

### Прототипирование стержней

«Индустрия 4.0» — новый тренд внедрения последних достижений информационных технологий в промышленности, который появился в 2011 году в Германии, обозначал технологии «умных» заводов и стал синонимом Четвертой промышленной революции. В мировой литейной промышленности этот тренд нашел свое идеальное выражение в так называемых технологиях «прототипирования» стержней (рис. 6). В настоящее время это самый короткий путь от 3D-чертежа до конечного стержня (стержневой формы) и соответственно — до отливки [26, 33].

В специализированной литературе данные технологии известны под именем «аддитивных», потому что геометрия конечного из-



**Рис. 5.** Фрагмент автоматизированного стержневого участка Laetpre для производства стержней по BeachBox-процессу на немецком заводе Inacore в г. Энголдсбах (Бавария)





**Рис. 6.** Общий вид стержня после 3D-печати (справа), а также традиционная технология его изготовления отдельными элементами (слева) [31]

деля создается послойным наращиванием объемных миниэлементов. «Классические» размеры миниэлемента — кубики с длиной канта 0,1 мм. Отдельные методы прототипирования отличаются между собой физическими способами создания пространственных слоев, а также «быстротой действия» применяемого оборудования. За период 1987...2005 гг. до промышленного уровня были разработаны не менее 30 различных модификаций процесса, а также свыше 100 различных машинных установок прототипирования. Из них за последние 20 лет в литейной промышленности успешно внедрены всего 2 основных метода 3D-печати стержней и/или стержневых форм, а именно:

- послойное спекание сухой смеси из «плакированного» органическими смолами песка лазерным лучом (Bed Deposition & Selective Laser Sintering, в переводе «выборочное спекание лазером находившегося в определенном пространстве материала»),
- послойное нанесение точечной дозы органического или неорганического связующего состава на ровный слой предварительно перемешанного с жидким связующим песком (Bed Deposition & Binder Jetting, в переводе «выборочное точечное нанесение связующего на находившийся в определенном пространстве материал»).

Отверждение по методу BD & SLS — горячее, а по методу BD & BJ — холодное.

Есть и гибридные модификации «холодного» метода BD & BJ, при котором по причине физико-химических свойств применяемых связующих во время нанесения капли связующего участок песка, принимающий каплю, принудительно нагревается до 40...60 °С инфракрасным излучением. В качестве свя-

зующих при методе BD & BJ применяются фурановые или полифенольные смолы, а в последние 5 лет — и неорганические связующие на основе силиката натрия [26—28].

Технологии и оборудование для 3D-печати стержней и стержневых форм разрабатываются специализирующимися в данной области компаниями, в основном из США и Германии (общая доля этих стран в мире > 70%) [33].

При реализации крупных проектов серийной печати, например, для потребностей мирового автопрома, линии печати стержней имеют производительность, сравнимую с классическими пескострельными автоматами и состоят из множества 3D-принтеров и вспомогательного оборудования (например, конвейерных систем, систем смесеприготовления, систем централизованной подачи связующего, а также частично и в зависимости от метода 3D-печати — из систем для принудительной сушки стержней). Распечатанные стержни после достижения манипуляционной прочности подвергаются поверхностной очистке. Самые современные варианты для выполнения этой задачи — с применением мини-роботов [29, 30].

Основное преимущество технологий прототипирования — существенное ускорение времени разработки конструктивно «новой» отливки и, соответственно, новой литейной формы. По сравнению с традиционным подходом разработки технологии отливки и изготовления модельно-стержневой оснастки, прототипирование стержней/стержневых форм уменьшает общую продолжительность данного процесса как минимум шестикратно.

Основной недостаток применяемых в настоящее время технологий 3D печати стерж-

ней — высокая стоимость принтеров. Поэтому применение этих технологий в мировой литейной промышленности в настоящее время ограничено серийным производством стержней отливок для автопрома. Ситуацию с массовым внедрением данных технологий на стержневых участках литейных заводов можно сравнить с динамикой внедрения электрических автомобилей взамен классических легковых машин с двигателями внутреннего сгорания. Пока не созданы необходимые условия для массового производства как принтеров, так и материалов для производства стержней, и вряд ли динамика внедрения этой революционной технологии в мировую литейную промышленность изменится.

### Обобщение

Современные технологии машинной формовки стержней являются результатом внедрения последних достижений литейной химии и информационных технологий в мировую литейную промышленность.

В настоящее время литейщикам предоставлены колоссальные возможности для рентабельного серийного производства отливок со сложной геометрией с применением разовых песчаных стержней, причем значительно сокращается процесс разработки новых отливок от чертежа до конечного изделия.

«Дальнее» будущее стержневых технологий однозначно связано с серийной 3D печатью, а «ближайшее» будущее — с правильной комбинацией из традиционных методов серийного производства стержней на классических пескострельных автоматах и из прототипированных стержней, для которых изготовление стержневой оснастки технически невозможно или как минимум — не рентабельно.

Переход от традиционных технологий серийного производства песчаных стержней к 3D-печати однозначно связан со сферой деятельности фирмы Laetpre, которая уже десятилетиями успешно внедряет новейшие стержневые технологии в мировую литейную промышленность. Пользуясь своим богатым практическим опытом, фирма Laetpre и в будущем готова предложить своим российским клиентам сверхсовременные технологические решения по созданию стержневых участков «под ключ» для серийного производства

стержней с целью повышения рентабельности и экономической эффективности литейной промышленности России.

### Использованная литература

1. U. Recknagel, *Gieerei-Praxis*, No. 5, 2007, S. 182—184.
2. Bakelite — Handbuch, Leitfaden, Produktauswahl, Anwendung, 1989, Seiten 56...72.
3. L. Cobos u. a., «Gieerei-Erfahrungsaustausch», No. 6, 1995, S. 219...226.
4. P. Grning, «Gieerei-Rundschau» H3 & 4, 2014, S. 104—108.
5. P. Grning, u. a., «Gieerei» H6, 2011, S. 104—118.
6. A. Serghini, *Strukturmodifizierte Coldbox-Systeme mit verbesserten Eigenschaften*, www.ha-group.com
7. F. Iden u.a., «Gieerei» H5, 2011, S. 24—36.
8. F. Iden u. a., «Gieerei» H9, 2011, S. 18—25.
9. A. Psimenos u. a., «Gieerei» H6, 2006, S. 72—79.
10. M.M. Sipos, u. a., «Gieerei» H7, 2008, S. 62—67.
11. G. Eder, «Gieerei-Rundschau» H 9/10, 2005, S. 242—248.
12. P. Grning, «Gieerei-Rundschau» H3 & 4, 2014, S. 104—108.
13. Ch. Macho u. a., «Gieerei-Rundschau» H1 & 2, 2007, S. 2—11.
14. W. Ellinghaus, «Gieerei» H21, 1995, S. 773—775.
15. K. Wolf, «Gieerei» H3, 1996, S. 18—21.
16. J. Mller, «Gieerei-Erfahrungsaustausch», H1 & 2, 2012, S. 38—40.
17. K. Lchte, «Gieerei-Rundschau» H3 & 4, 2005, S. 68—70.
18. B. Wallenhorst, «Gieerei-Rundschau» H3 & 4, 2010, S. 50—52.
19. F. Iden u. a., «Gieerei» H1, 2011, S. 30—39.
20. U. Pohlmann u. a., *CB-Bindersysteme im Vergleich mit anderen Kernherstellungsverfahren*, www.ha-group.com
21. J. Brotzki u. a., «Gieerei-Erfahrungsaustausch», H9, 2008, S. 24—29.
22. Th. Kautz, u. a. «Gieerei», H.9, 2010, S. 77—79.
23. J. Mller, «Gieerei», H.2, 2012, S. 52—58.
24. Th. Pabel, u. a. «Gieerei»-Rundschau, H. 1/2, 2011, S. 20—29.
25. K. Lchte u. a., «Gieerei»-Rundschau, H. 3/4, 2005, S. 68—70.
26. Gebhardt, «Grundlagen des Rapid Prototyping», RT Journal, 2004, Seiten 1...16.
27. А.Ю. Артемьев, «Литье Украины», № 3 (91), 2008 г., стр. 1...7.
28. М. Зленко и др., «Аддитивные технологии в машиностроении», ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», Москва, 2015 г.
29. Сайт компании ExOne: www.exone.com
30. Сайт компании Voxeljet: www.voxeljet.com
31. Additive Fertigung, Voxeljet-Produktinfo, H1, 2015, S. 39.
32. Ramakrishnan u. a., 3D-printing of Inorganic Sand Moulds for Casting Applications, Publication of Institute of Metal Forming and Casting at TU Munich, www.scientific.net
33. C. Caviezel u. a., Additive Fertigungsverfahren, Innovationsanalyse, Mrz 2017.