

Немецкое стержневое оборудование фирмы Laempe на литейных заводах холдинга Weichai, Китай

В статье описывается актуальное состояние литейного производства Китая и перспективные тренды развития. Показывается пример оснащённости самым современным стержневым оборудованием одного из крупнейших автомобильных концернов мира.

Ключевые слова: модернизация литейного производства, литые автокомпоненты, Coldbox-Амин-процесс, приготовление стержневой смеси, роботизация производства стержней и стержневых форм.

The article describes the current state of the foundry industry in China and promising development trends. An example of equipping one of the largest automobile concerns of the world with most modern core-making equipment is shown.

Keywords: modernization of foundry production, cast automotive components, Coldbox-Amin-process, core sand preparation, robotization of core-making.

Актуальное состояние китайской литейной промышленности

Китай уже десятилетиями является мировым лидером по выпуску литейной продукции.

Анализ статистических данных как Всемирной организации литейщиков, так и Европейской Ассоциации Литейщиков (CAEF), показывает, что доля Китая в мировом производстве отливок за период 2006—2019 гг. остается на неизменном уровне 40—44% — см. диагр. № 2.

Количество литейных заводов Китая в настоящий момент не превышает 26 000, а количество всех сотрудников, занятых в литейном производстве, составляет не более 2 млн. человек.

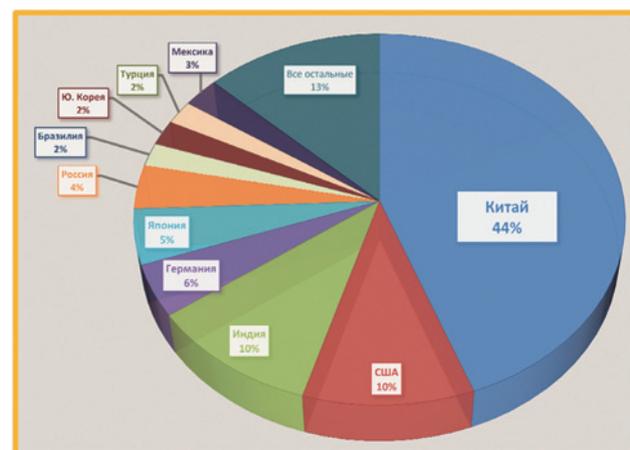
Рентабельность китайской литейной промышленности по критерию «тоннаж на сотрудника» в 2019 г. составляла 24 т/человек. По сравнению с Германией, где общее количество штатных сотрудников на всех 600 литейных заводов страны в 2019 г. составляло 75 400 человек, показатель эффективности

литейного производства Китая (тонн в год на одного сотрудника, вкл. вспомогательный и обслуживающий персонал) почти в 3 раза ниже, и Германия является мировым лидером по рентабельности литейного производства. Китай производит отливки в основном для потребностей своей собственной промышленности. Доля экспорта в сбыте отливок не превышает 5% (по сравнению с Германией этот процент в 7 раз меньше) [1—5].

Динамика роста литейной промышленности Китая за период 2012—2019 гг. умень-



Диагр. 1. Статистические данные по выпуску литейной продукции Китая за последние 10 лет в млн. тонн [1—5]



Диагр. 2. Доля Китая в мировом производстве отливок в 2019 г. [5]



Диагр. 3. Динамика роста литейной промышленности Китая по общему выпуску отливок за последние 10 лет в % [1–5]

шилась в два раза по сравнению с периодом 2007–2012 гг. — см. диагр. 3.

Основная причина для подобной тенденции развития литейной промышленности Китая — национальный план о переходе промышленности к высоким технологиям, т.е. к внедрению самых передовых инновационных производственных процессов. Очевидно, факт сбыта литейной продукции на общую стоимость более 100 млрд. US \$ в год не удовлетворяет руководство страны. Еще менее удовлетворительным является низкая рентабельность литейных заводов.

Пятилетние правительственные планы развития однозначно определяют тренд к уменьшению количества занятых в литейной промышленности сотрудников, в основном за счет активного внедрения последних достижений литейных технологий и оборудования для автоматизации производственных процессов, а также к закрытию нерентабельных литейных заводов и созданию группы технологических гигантов, которые в будущем и в условиях глобальной промышленной интеграции, нарастающего геополитического противостояния, протекционизма и торговых войн, смогут успешно соревноваться с другими крупными корпорациями из других промышленно развитых регионов мира [1–5].

Сотрудничество Laetpre с литейными заводами Китая

Сотрудничество Laetpre с китайскими литейщиками продолжается более полувека. Группа Laetpre за этот период времени поставила на заводы литейной промышленности Китая более 3600 единиц стержневого

оборудования. Начиная с 2005 г. динамика поставок стержневых технологий Laetpre на литейные заводы Китая резко возросла, причем более 90% всех реализованных в Китае проектов связаны с проектами модернизации литейных заводов крупных технологических концернов Китая.

Показательна доля поставок стержневых автоматов немецкой фирмы Laetpre в эту азиатскую страну — за период 2012–2015 гг. в Китай отгружалось 60...65% от всех производимых стержневых центров, а в период 2015–2020 гг. — ок. 40% (частично доля поставок сместилась на рынки ЕС и США).

Рынок Китая является одним из самых крупных потребителей новейших образцов литейного оборудования из Германии — стержневых автоматов и автоматических формовочных линий. Так, за последние 15 лет немецкой фирмой HWS-Sinto на литейные заводы Китая было поставлено более 70 автоматических формовочных линий (АФЛ) по инновационному Сейатцу-процессу (предварительное уплотнение воздушным потоком и последующее прессование многоплунжерной прессовой головкой).

По конкретным данным из референт-листов поставок фирма HWS-Sinto производит в Германии и ежегодно отгружает в Китай большую часть опочных АФЛ (иногда даже по 13 и 14 АФЛ в год, как 2013–2014 гг. соответственно) — или в среднем по годам каждую вторую-третью производимую АФЛ. При этом в Китай поставляются в основном самые передовые модели высокоскоростных АФЛ — средняя производительность от 110 до 220 форм в час. Часто это литейные заводы по выпуску литых автокомпонентов.

Пример сотрудничества с китайским технологическим холдингом Weichai

Weichai — крупнейший китайский технологический холдинг, созданный в 1946 г. в экономической зоне города Шандон. По финансовым результатам 2019 года (260 млрд. юаней = 41 млрд. US \$), Weichai занимает 23-е место среди 500 ведущих промышленных корпораций и 2-е место среди TOP-100 машиностроительных компаний Китая.

Основные сферы деятельности холдинга Weichai — двигателестроение, тяжелое, сельскохозяйственное и железнодорожное маши-

ностроение, стационарные энергетические станции, грузовое автомобилестроение, судостроение. На всех заводах холдинга работают около 90000 сотрудников. Холдинг Weichai имеет производственные и сервисные центры в различных странах Европе, Северной Америки и Азии.

Руководством холдинга поставлена стратегическая задача развития, а именно увеличение капиталоборота до 150 млрд. US \$ в 2030 г., а также вступление в тройку мировых лидеров по каждому направлению деятельности холдинга и одновременно — в TOP-150 лидирующих по годовому капиталобороту мировых корпораций. Основное направление деятельности холдинга Weichai есть и должно остаться в будущем двигателестроение и его применения в самых разных областях промышленности [7].

Работа по этому направлению ведется дивизионом Weichai Power, в структуру которого входит чугунолитейный завод Weichai Power (Weifang) Casting & Forging Company, коротко «Вейфанг», выполняющий заказы по производству отливок для потребностей всего холдинга.

Производственные мощности завода — 350000 т чугуна в год. Выпускаются отливки из СЧ, ВЧ, ЧВГ, в основном блоки цилиндров, головки, корпуса коробки передач, распредвалы и др. Среднегодовой выпуск годного литья составляет более 97%: по этому показателю чугунолитейный завод «Вейфанг» занимает первое место среди всех литейных заводов Китая.

Участки плавки оснащены двумя вагранками с горячим дутьем, каждая производительностью 35 т/ч, а также 4 индукционными печами для дуплекс-режима плавки с вагранками, вместимостью 2×25 т и 2×80 т соответственно. Это плавильное оборудование дополняется индукционными тигельными печами вместимостью 12 т (5 печей) и 10 т (2 печи).

На чугунолитейных заводах холдинга Weichai запущены и успешно работают несколько немецких АФЛ по Сейатцу-процессу фирмы HWS-Sinto — мирового лидера в области проектирования и производства АФЛ. Основные технические характеристики этих линий: производительность от 70 до 110 форм в час, размер опок от 1200×800 до 1500×1200 мм.

На АФЛ выпускаются отливки с отдельным весом до 400 кг. Участки заливки оснащены автоматическими и полуавтоматическими разливочными системами фирмы HWS-Sinto, а в случае ВЧ и ЧВГ — системами модифицирования расплава в струю.

Стержневые участки на чугунолитейном заводе «Вейфанг» в настоящий момент оснащены более чем 100 стержневыми машинами, которые производят песчаные стержни в основном для потребностей участка машинной формовки.

Ажурные стержни каналов для отливок «головок» или «блоков», напр. «водяные рубашки», «масляные каналы», «водяные насосы» производят методами Shell (Croning) или Hotbox с применением нагреваемой стержневой оснастки. Более 50% из общего количества стержневых машин на заводе «Вейфанг» — машины для Shell (Croning) процесса. По этому показателю китайский чугунолитейный завод значительно отстает от мирового тренда производства стержней по «холодным» процессам. По этой причине «Вейфанг» за последние 10 лет реализовал множество проектов модернизации, связанных с поставкой современного стержневого оборудования немецкой фирмы Laempe.

Первую поставку на чугунолитейный завод «Вейфанг» фирма Laempe выполнила в 2011 г. Автоматизированный комплекс технологического оборудования состоял из двух стержневых центров и двух вспомогательных роботов в комплекте с мультифункциональными захватами для съема и поверхностной обработки стержней, в том числе для их окрашивания водяной противопожарной краской окунанием. Каждый стержневой центр оснащен пескострельным автоматом Laempe типа LCB190 с объемом головки 190 л, а также смесителем и газогенератором по Coldbox-Амин-процессу. Замена комплектов стержневой оснастки на каждом пескострельном автомате происходит автоматически по команде от оператора.

Номинальная производительность технологического комплекса Laempe в производственных условиях чугунолитейного завода «Вейфанг» составляет 60 стержневых пакетов в час.

Вторую поставку на чугунолитейный завод «Вейфанг» Laempe выполнила в 2019 г.

Комплекс технологического оборудования состоял из 4-х стержневых центров. Два из

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. 1. Общий вид пескострельного автомата Laetpre типа LCB190 на заводе «Вейфанг»



Рис. 2. Общий вид мультифункционального захвата для робота во фронтальной части двух пескострельных автоматов LCB190 для съема и поверхностной обработки центровых стержней для отливок 6-цилиндровых рядных блоков грузовых двигателей «Вейфанг»

них были на базе пескострельного автомата Laetpre типа LFB25, а остальные два — на базе LFB50. Пескострельные автоматы LFB25 были оснащены головками 40 л, а LFB50 — головками 80 л.

Каждый стержневой центр был оснащен смесителем и газогенератором по Coldbox-Амин-процессу. Наладка комплекта стержневой оснастки на каждом пескострельном автомате происходила в автоматическом режиме по команде от оператора.

Третий и самый крупный многомиллионный заказ от чугунолитейного завода «Вейфанг» Laetpre получила в «кризисном» 2020 году. Автономный стержневой центр Laetpre выполнен на базе крупнейшего за все времена в мировой литейной практике пескострельного автомата последнего поколения типа LHL1700H, вихревого смесителя LVMD15 с производительностью 15 т/ч, а также включает необходимое периферийное оборудование (газогенераторы по Coldbox-Амин-процессу, линейные манипуляторы для съема и поверхностной обработки стержней, конвейерные системы, система автоматизированной замены комплектов стержневой оснастки) и т.п.

Предназначение стержневого центра Laetpre — производство «секционных стержней» для стержневых пакетов для отливок крупногабаритных дизельных двигателей как для стационарных станций электроснабжения, так и для судостроения. Максимальные габаритные размеры самого крупного секционного стержня, который будет производиться на пескострельном автомате LHL1700H, составляют 1550 × 1900 × 530 мм. Ориентировочный вес данного секционного стержня

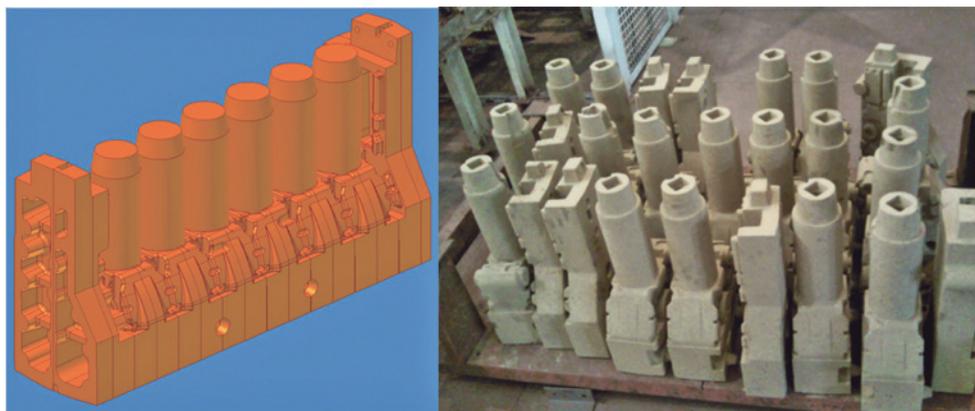


Рис. 3. Стержневой пакет блока картера (фото слева), а также отдельные центровые и торцевые стержни (фото справа) для отливок 6-цилиндровых рядных блоков грузовых двигателей «Вейфанг»

1900 кг. Поэтому пескострельная головка автомата LHL1700H будет выполнена с максимальным объемом 1700 литров.

Для получения высококачественных секционных стержней по Coldbox-Амин-процессу необходима и высокопроизводительная система смесеприготовления. Для этой цели в объеме поставки технологического оборудования Laempe предусмотрен двухкамерный вихревой смеситель последнего поколения типа LVMD.

Для оценки оптимальной конструкции смесителей для стержневых смесей по Coldbox-Амин-процессу можно успешно приложить фундаментальные исследования Х. Рииса [8].

Х. Риис определяет, что «смесеприготовление» это «...процесс связывания материальных потоков из различных по своему составу, плотности и/или зернометрии твердых и/или жидких веществ, без изменения их агрегатного состояния и без образования новых фаз». Х. Риис установил, что качество смеси зависит от времени перемешивания компонентов, причем функциональная зависимость имеет экспоненциальный характер, т.е. быстро нарастает, переходит через оптимальный для каждой конкретной рецептуры максимум, после чего уменьшается. Это означает, что для каждой рецептуры стержневой смеси и для каждого смесителя есть оптимальное время перемешивания потоков твердых и жидких компонентов, после достижения которого стержневая смесь в случае дальнейшего перемешивания расслаивается, т.е. ее технологические свойства ухудшаются.

Для классификации условий оптимального перемешивания материальных потоков из жидких и твердых компонентов в смесителях с различными конструктивными принципами работы Х. Риис применяет безразмерное число Фруда (Froude). Число Фруда (Fr) характеризует соотношение между центробежными силами и силами тяжести, действующими на потоки материалов во время их перемешивания в конкретном смесителе и выражается формулой:

$$Fr = (g \cdot L) / v^2$$

где

g — ускорение свободного падения, в м/сек²,

L — длина смесителя, по которой происходит перемешивание компонентов смеси, в метрах,

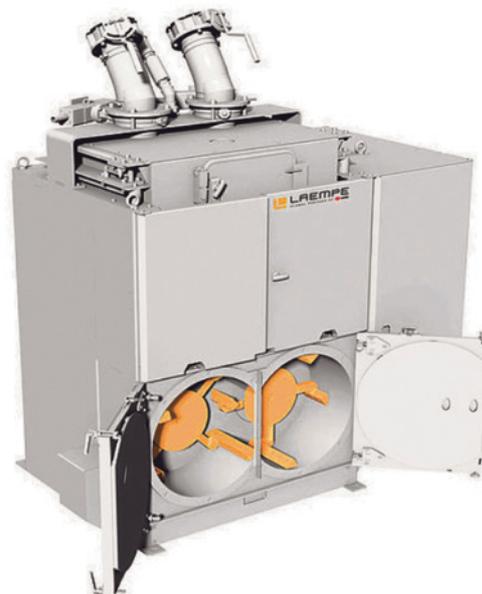


Рис. 4. Общий вид двухкамерного вихревого смесителя LVMD15 типа последнего поколения

v — скорость вращения инструмента смесителя, в м/сек.

Для «рукавных» смесителей характерны числа Фруда $Fr < 3$, т.е. смешивание потоков согласно рецептуре смеси происходит «скольжением».

Для «центробежных» смесителей с горизонтальным размещением инструмента смешивания характерны значения числа Фруда $3 < Fr < 9$, т.е. смешивание материальных потоков смеси происходит «в кипящем слое».

Для «вихревых» смесителей с вертикальным размещением инструмента смешивания характерны числа Фруда $Fr > 9$, т.е. смешивание материальных потоков происходит принудительно как в микро-, так и в макрообъеме порции смеси [8].

Второй критерий, который Х. Риис применяет для правильного выбора конструкции смесителя — специфическая энергия смешивания. Она выражается произведением мощности привода смешивающего инструмента смесителя, времени перемешивания компонентов смеси, а также конструктивных параметров камеры смешивания и исчисляется формулой:

$$E = P \cdot z \cdot Ne \cdot f \cdot D^5 \cdot n^3,$$

где

E — специфическая энергия смешивания, в кДж,

Ne — безразмерная константа Ньютона,



Рис. 5. Примеры из производственной программы «Weichai Power» по дизельным двигателям, предназначенным для стационарных энергетических станций и для судостроения [7]

P — мощность привода инструмента смесителя, в кВт,

z — время цикла перемешивания компонентов смеси, в сек.,

f — средняя удельная плотность смеси, в кг/м³,

D — внешний диаметр траектории вращения, которой следует инструмент, в метрах,

n — скорость вращения инструмента смесителя, в сек⁻¹.

Согласно данной формуле, специфическая энергия смешивания компонентов смеси экспоненциально нарастает с увеличением внешнего диаметра траектории и с нарастанием скорости вращения инструмента смесителя [8].

Смесители Laempe для приготовления стержневых смесей по Coldbox-Амин-процессу выполнены конструктивно в соответствии с критериями Х. Рииса, т.е. гарантируют максимальную энергию смешивания за минимальное время. Двухкамерный вихревой смеситель Laempe последнего поколения типа LVMD имеет и дополнительное конструктивное преимущество макро- и микросмешивающего эффекта компонентов смеси в зоне контакта потоков материалов между двумя камерами. Именно этот эффект определяет и высокую производительность смесителя (15 т/ч), которую смеситель LVMD должен иметь в соответствии со специфическими требованиями чугунолитейного завода «Вейфанг», но с учетом максимальной компактности самого смесителя.

Расчетная производительность автономного стержневого центра Laempe для чугунолитейного завода «Вейфанг» в зависимости от габаритных размеров и веса отдельных секцион-

ных стержней будет составлять 6...10 шт./час. При пуско-наладке предусмотрена отработка технологии получения отливок для 7 различных типов крупных дизельных двигателей.

Поставка комплекса технологического оборудования Laempe на чугунолитейный завод «Вейфанг» запланирована на четвертый квартал 2021 г.

Обобщение

Многие литейные заводы и крупные холдинги Китая активно покупают немецкие автоматические формовочные и стержневые литейные линии, а также стержневые роботизированные комплексы и отдельные стержневые модули.

Вышеназванные примеры сотрудничества фирмы Laempe с чугунолитейным заводом китайского холдинга Weichai доказывают, что за последнее десятилетие ведущие китайские производители отливок однозначно выбирают только первоклассные технологии и немецкое оборудование для модернизации своих литейных заводов.

Однозначна тенденция к активному внедрению технологий и средств автоматизации производственных процессов на стержневых участках литейных заводов Китая. Взаимовыгодное сотрудничество Laempe с китайскими литейщиками активно продолжается.

По вопросам модернизации литейного производства отливок автокомпонентов и др. на базе современных технологий изготовления стержней обращайтесь в Представительство немецкой компании Laempe в РФ и странах СНГ: тел. +7 499 907-5255, +7 499 907-5000, e-mail: laempe@nln.ru, сайт www.laempe.com

Литература

1. «49th Census of World Casting Production», Modern Casting, Dec. 2015, p. 26...31.
2. «Status and Outlook of China Foundry Industry», Presentation of China Foundry Association, 2012.
3. «Technology Innovation & Green Development», Presentation of China Foundry Association, 2015.
4. Market Landscape and Competitive Analysis for Metal Casting Manuf. Industry», Ipsos Report, April 2015.
5. Литейное производство, № 2, 2021 г., стр. 34...36.
6. «50th Census of World Casting Production», Modern Casting, Dec. 2016, p. 25...29.
7. Сайт китайского технологического холдинга «Weichai»: <https://en.weichai.com/>
8. H. Ries, Aufbereitungstechnik, 1979, H1/2, S. 3...47.