



УДК 621.74

Поступила 11.09.2017

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

DIGITAL TECHNOLOGIES IN PRODUCTION OF CASTING BLOCKS OF METAL DETAILS

Г. П. МАНЖУЛА, ЗАО «МСП Технолоджи Центр», г. Минск, Беларусь. E-mail: center@mcp.by;
web: www.mcp.by

G. P. MANZHULA, Director of MSP Technology Center, Minsk, Belarus. E-mail: center@mcp.by;
web: www.mcp.by

В статье рассматривается роль цифровых технологий в литейном производстве и их влияние на сроки подготовки производства, культуру производства, уровень и стабильность качества. Применение цифровых технологий должно обеспечить литейщикам тесную связь с разработчиками, мехобработкой и метрологами, помочь реализовать свои знания, повысить престиж профессии, привлечь молодые кадры в литейное производство.

The role of digital technologies in foundry production and their influence on production preparation terms, production standards, level and stability of quality is considered in the article. Use of digital technologies has to provide to founders close connection with introducers, machine processing and metrologists, to help to realize their knowledge, to increase prestige of a profession, to attract young people in foundry production.

Ключевые слова. Цифровые технологии в литье, безмодельная оснастка, оптическая оцифровка, контроль литых заготовок, анализ литых заготовок, анализ оснастки, реверсинжиниринг, обратное проектирование, ремонт оснастки.

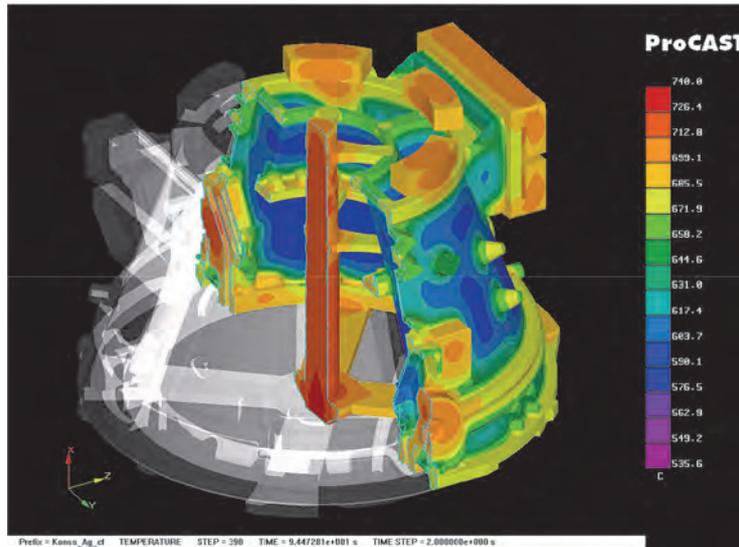
Keywords. Digital technologies in casting, the patternness equipment, optical digitization, monitoring of casting blocks, analysis of casting blocks, analysis of the equipment, reverse engineering, inverse projection, repair of the equipment.

Один из основных видов заготовительной базы машиностроения – литейное производство, переживает в настоящее время не лучшие времена. Являясь в своем развитии зависимой от уровня машиностроительного комплекса в целом, литейное производство зачастую сдерживает его развитие из-за некоторых своих особенностей. Все нуждаются в стабильных и объемных заказах. Но действительность такова, что в последние годы – после советского периода массового и крупносерийного производства, все чаще приходится довольствоваться мелкосерийным производством, и связанным с этим расширением номенклатуры отливок.

Проблема нашей литейной промышленности в том, что она лишена необходимой гибкости по причине больших сроков освоения новой продукции в условиях огромного числа влияющих факторов: от качества поставляемых материалов до стабильного обеспечения технологических режимов.

Одним из определяющих, если не главным, должно стать внедрение в литейное производство цифровых технологий. Если разработчики деталей и оснастки в абсолютном большинстве используют 3D-проектирование, то дальше в технологической цепочке большого прогресса в использовании IT-технологий еще не наблюдается.

Хотя в современных пакетах 3D-проектирования имеются в той или иной степени элементы компьютерного анализа литья, что позволяет избежать грубых ошибок в технологичности конструкции детали, но прогнозировать ее качество возможно при тщательном внесении технологических параметров в специализированный пакет программ (САЕ). Таких программ сейчас довольно много в широком диапазоне цен. Но даже самые лучшие (и дорогие) из них гарантируют(?) прогноз с точностью около 90 %. Под-



Симуляция в пакете ProCast, Франция

твердить эти теоретические (!) 90 % и определить самые интересные последние 10 % приходится уже после изготовления оснастки в процессе экспериментов.

А если не удастся добиться результатов только технологическими приемами и потребуется изменение конструкции детали? А если деталь сложная и стоимость оснастки и сроки ее изготовления очень большие?

Для технологии литья в песчаные формы, например, в этих случаях может существенно помочь технология безмодельной оснастки – прямое изготовление песчаных форм и стержней по данным компьютерного проектирования.

В настоящее время в мире распространены три принципиальных метода изготовления песчаных литейных форм без изготовления модельной оснастки:

- фрезерование заполимеризованных песчаных блоков (Direct Mold Milling);
- послойное селективное спекание песчано-полимерной смеси лазером (Laser Sintering);
- послойное селективное отверждение песчано-полимерной смеси избирательным нанесением отвердителя (Binder Jetting).

Для технологии Direct Mold Milling в принципе не требуется особого оборудования: робот и специальная фреза. Метод, конечно, не получил широкого распространения для деталей с разветвленной поверхностью, но для деталей с поверхностью сложной формы, например, корабельные винты, он применяется.



ROBOTIC SOLUTIONS INC.,
США



Прямое фрезерование блока из песчано-полимерной смеси
(фирма EEW-PROTEC GmbH, Германия)



Два других метода – Laser Sintering от компании EOS и Binder Jetting от компании ExOne, применяются очень широко как для отработки технологии – свойства получаемых песчано-полимерных форм близки к ХТС, так и в единичном и мелкосерийном производстве.



Стержень и литая заготовка
 (фирма EOS)

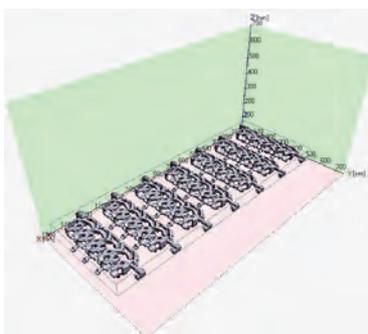


Сборка напечатанной формы (фирма ExOne)

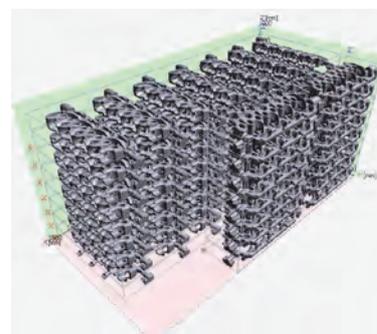
Технология Binder Jetting, например, находит применение не только в процессе изготовления опытных образцов при отработке конструкции и технологии, но и в производстве небольших серий и вариантов литых деталей.



Стержень водяной рубашки
 508×191×73 мм для варианта
 головки цилиндров

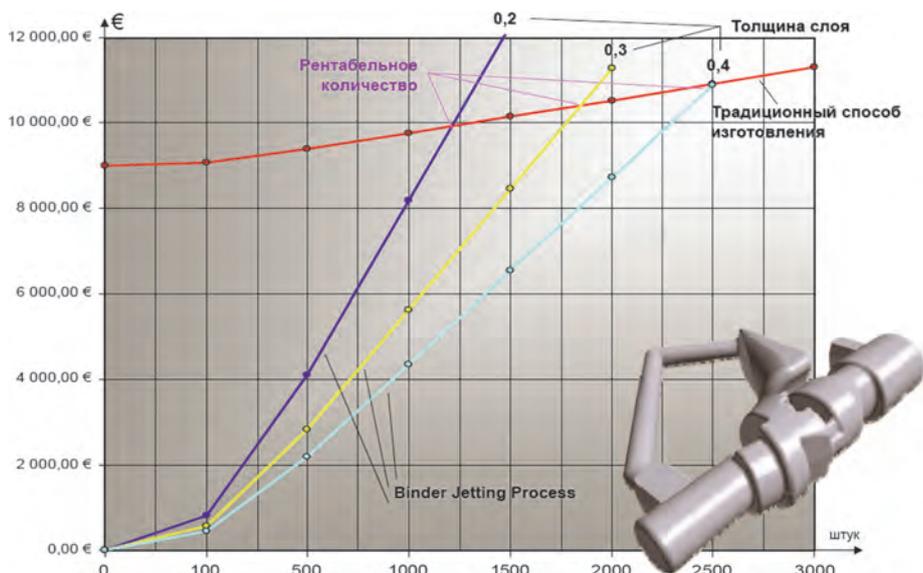


1 или 9 шт. = 244 мин = 4 ч



72 шт. за 34 ч

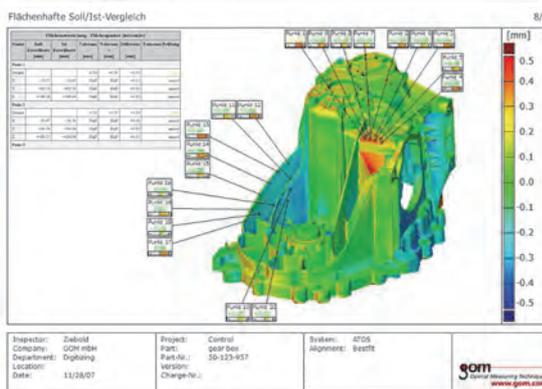
Можно рассматривать рентабельность и для серийного производства. В качестве примера приведен график рентабельного производства стержней для крана.



Нельзя не отметить большие выгоды по срокам и стоимости от применения технологии Binder Jetting при изготовлении металлической оснастки. Для получения литых заготовок для кокиля, модельных комплектов и «горячих» стержневых ящиков можно использовать технологию литья в формы, полученные по Binder Jetting-процессу. Заготовки могут иметь минимальные припуски, что позволит снизить затраты на обработку.

Еще одна цифровая технология, которая пока еще не получила у нас должного распространения, но которая очень широко применяется в зарубежных литейных производствах, это оцифровка.

Когда мы говорим об анализе данных, предполагаем, что речь идет об осмыслении данных, полученных на предыдущем этапе – сборе данных. Современные цифровые технологии позволяют совместить эти два этапа. Так, система бесконтактной оптической оцифровки позволяет измерить миллионы координат на поверхности изделия, произвести их обработку и предоставить результаты в удобном для осмысления виде. Если контроль – это проверка детали на соответствие заданным, например, размерам, то анализ – это информация, которая выявляет тенденции и помогает определить причины.



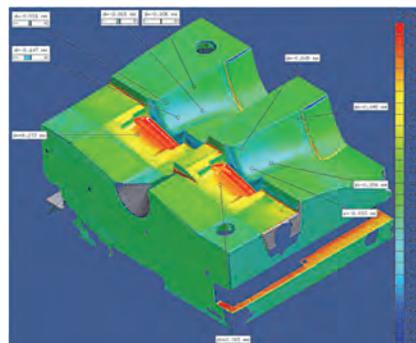
Контроль литой заготовки

Контроль + анализ литой заготовки

В процессе анализа данных система оцифровки сравнивает их с эталоном, в качестве которого могут выступать 3D-модель от разработчика или данные оцифровки эталонной детали. Результат выдается в виде таблицы – контроль в определенных точках, и в виде цветовой карты отклонений – анализ. Это дает литейщику возможность определить проблемные места и принять меры для устранения причин. Самое главное, позволяет ему реализовать свои знания в большей мере.

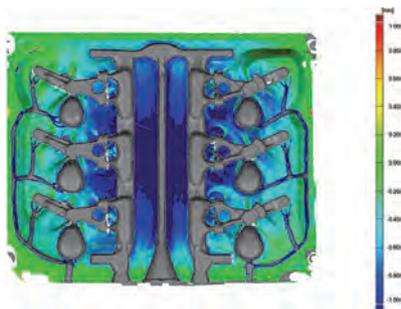
Анализ оснастки в процессе изготовления и в процессе эксплуатации – еще одно применение оцифровки. Сравнивая результаты оцифровки изготовленной оснастки с 3D-моделью, легко выявляются места, подлежащие доработке. А проводя периодическую оцифровку оснастки в процессе эксплуатации, легко определяются места износа для последующего восстановления.

Произведя оцифровку отдельных частей оснастки, в компьютере можно проанализировать их сборку и сопряжение.

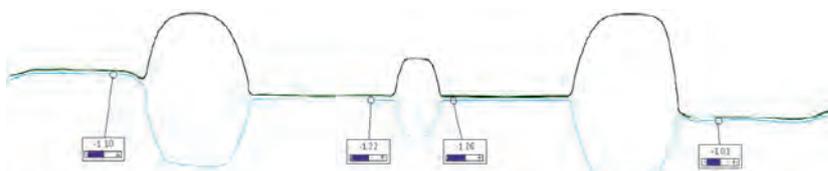


Процесс оцифровки оснастки с применением системы ATOS фирмы GOM mbH

Результаты анализа размерной точности



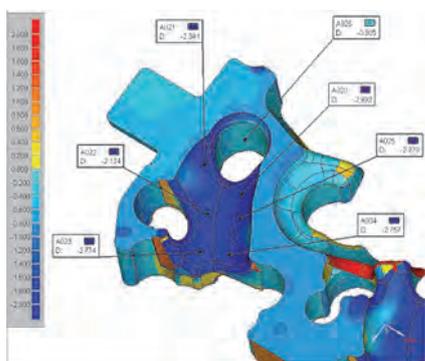
Анализ сопряжения частей оснастки по линии разреза



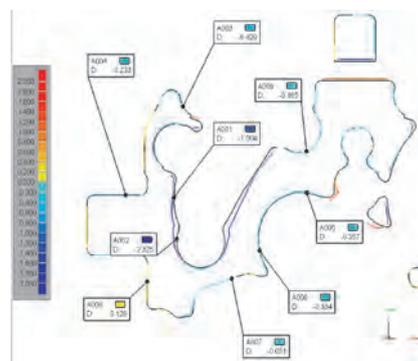
Анализ сопряжения частей оснастки по линии разреза в сечении

Исключительное значение оцифровка для паспортизации оснастки имеет в случае доработки оснастки в процессе испытаний. Имея данные оцифровки доработанной и успешно работающей оснастки, в любой момент можно ее восстановить или изготовить дублер.

Для паспортизации оснастки важна не только размерная точность ее самой, но и как она работает. Для этого проводят оцифровку полученной с применением оснастки детали.



Результат анализа отклонений песчаного стержня от 3D-модели в объеме

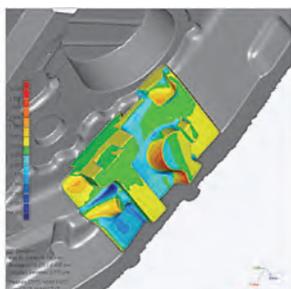


Результат анализа отклонений песчаного стержня от 3D-модели в сечении

Еще одно применение системы оцифровки – реверсинжиниринг (обратное проектирование). В литейном производстве все еще есть старая оснастка, которая изготавливалась без использования 3D-данных и которую нужно или восстанавливать, или дублировать, или модифицировать в связи с изменениями конструкции детали или технологии литья. Произведя оцифровку оснастки, можно уже производить все действия на компьютере и отправлять далее на станки с ЧПУ.



Деревянная модельная оснастка



Результат сканирования системой ATOS



3D-модель одной из поверхностей формы



3D-модель формы в сборе

То же касается, если возникает необходимость в изготовлении детали взамен изношенной или поврежденной, а чертежи на нее отсутствуют. Сканируется изношенная деталь и на компьютере восстанавливается ее форма. Математическая модель используется дальше по обычной схеме с использованием станков ЧПУ.

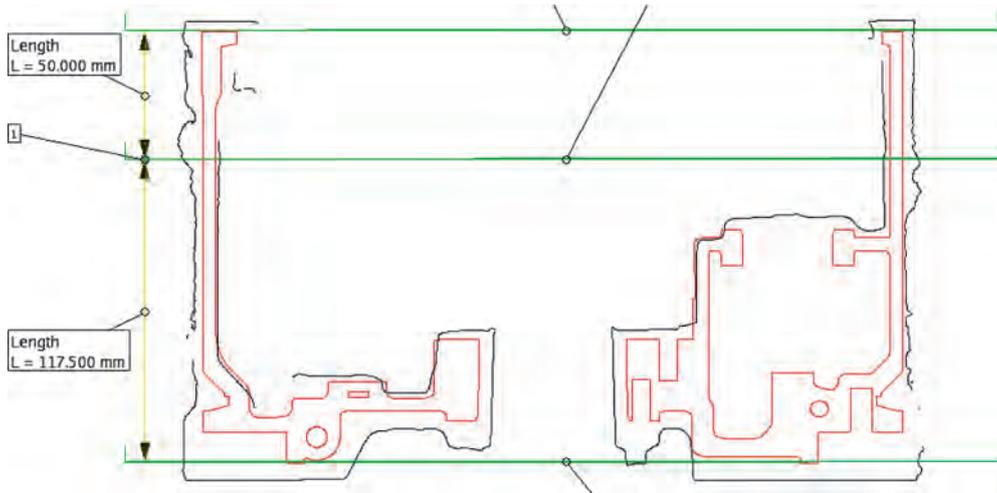
При изготовлении оснастки или небольшой партии сложных деталей с использованием литых заготовок оптическую оцифровку можно эффективно использовать для проведения разметки. На результаты оцифровки накладывается 3D-модель детали и в компьютере оптимизируется их совмещение. Результаты передаются на механическую обработку, что позволяет производить так называемое адаптивное фрезерование.



Результат сканирования изношенной крыльчатки смесителя. Сканирование системой ATOS

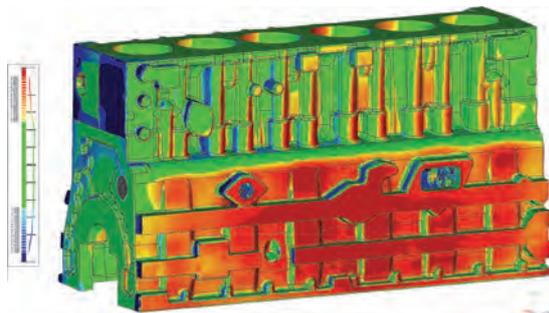


3D-модель крыльчатки смесителя, восстановленные по данным сканирования

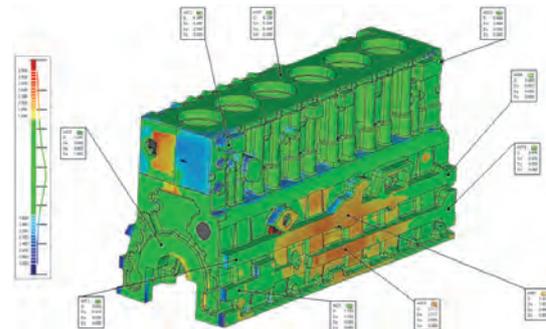


Совмещение в компьютере 3D-модели детали (красные линии) и результатов оцифровки литой заготовки (черные линии). Вид в сечении

Разметка литой заготовки очень важный этап технологической цепочки. В серийном производстве обычно это делают при помощи кондуктора. Его конструкцию – точки базирования литой заготовки необходимо тщательно продумывать уже на этапе проектирования детали в тесном взаимодействии с литейщиками, фрезеровщиками и метрологами. Может литейщик и имеет возможность уменьшить припуски на обработку, но дальнейшая технологическая цепочка не позволяет это использовать. А здесь же важно не только отсечь бракованные литые заготовки, но и не забраковать годные!



Компьютерная имитация базирования литой заготовки, как на имеющемся в производстве кондукторе



Оптимальное совмещение литой заготовки

Электронная разметка, если она производится в ручном режиме, процесс не быстрый. Необходимо сделать достаточное количество съемок с помощью цифровых камер, чтобы получить полную картину для анализа. Для ускорения процесса и его автоматизации применяют роботизированную систему. Это выгодно в серийном производстве.

А нужно ли это? Будучи с визитом на литейном заводе, выпускающем в массовом порядке головки и блоки цилиндров для многих европейских автозаводов, я заинтересовался подходом к контролю литых заготовок деталей.

1. На стадии подготовки производства скрупулезно была продумана система базирования (подход обычный – по системе 3–2–1). В дальнейшем за точками базирования тщательно следят.



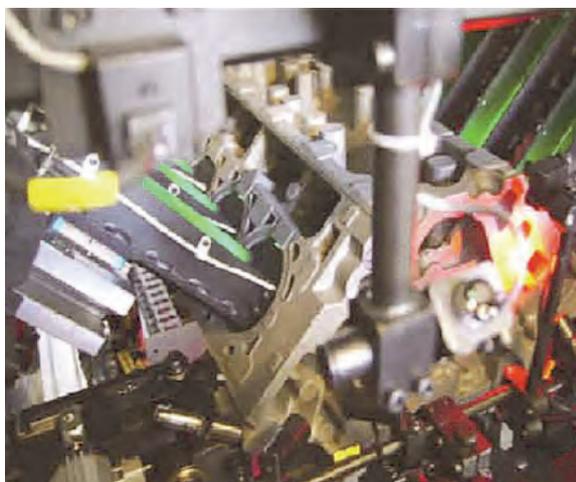
Система оптической оцифровки ATOS в составе комплекса ScanBox

2. Так как продукция завода отсылается за многие километры и производитель должен быть уверен, что в процессе мехобработки не будут выявлены скрытые дефекты, он производит черновую мехобработку на месте.

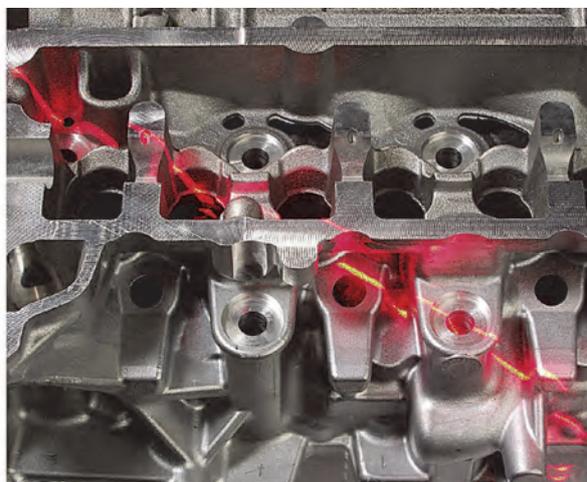
3. Далее в составе конвейера стоит комплекс контроля с использованием машинного зрения. 100%-ный контроль по многим параметрам: в зависимости от детали – от 120 до 700 параметров! Контролируются размеры, форма, качество поверхности, в том числе на наличие рыхлот, пригара, утяжин, пористости и т. д.

4. Четыре раза в смену выборочно сканируют детали с помощью системы оцифровки. Это позволяет определить, что литые заготовки идут без изменений.

5. Два раза в смену выборочные заготовки отправляют на координатно-измерительную машину для подтверждения, что механическая обработка соответствует требованиям.



Контроль литых заготовок с применением машинного зрения. Оборудование фирмы FALCON-VISION ZRt., Венгрия



Лазерный сканер в составе системы контроля литых заготовок. Оборудование фирмы FALCON-VISION ZRt., Венгрия

Все данные контроля хранятся в базе данных. Все литые заготовки имеют штрих-код.

Такой подход позволяет гарантировать высокое качество выпускаемой продукции и оперативно реагировать на производственные проблемы.

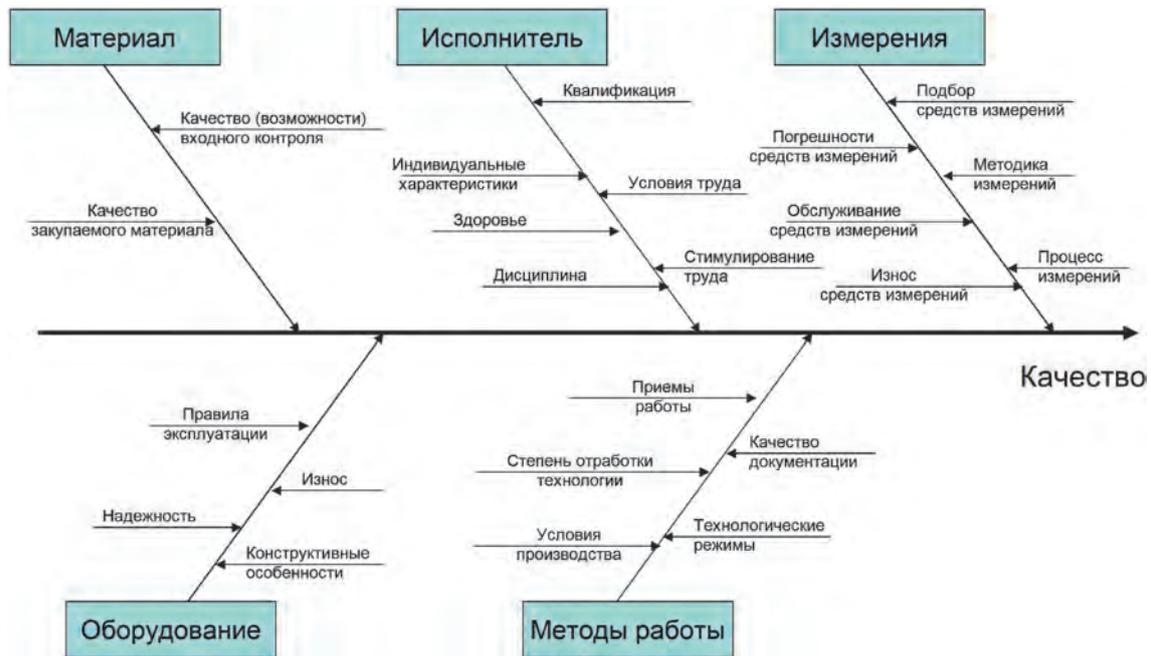
Выводы

Каждая отрасль машиностроения предъявляет свои, различные, и зачастую противоположные, требования по виду технологии литья, необходимой для производства тех или иных изделий. Количество современных технологий литья весьма велико. Любой литейщик с удовольствием бы оставил в производстве одну технологию и доводил бы ее до совершенства. В какой-то мере локализация технологий упростила бы технические трудности. Но если внутри одного концерна или холдинга можно размещать литье на разных предприятиях холдинга, применив административное давление, то между не подчиненными предприятиями фраза «в порядке оказания технической помощи» уже не работает. Приходится держать несколько технологий.

Но если грамотно внедрять современные цифровые технологии, можно в самые сжатые сроки обеспечить резкое сокращение сроков подготовки производства любой технологии, повторяемость технологических процессов, обеспечить гибкость производства и стабильное качество продукции.

Литейное производство как ни какое другое зависит не только от материалов и оборудования, но и от квалификации персонала и отношения его к работе.

Предприятия должны, исходя из конкретных своих условий, определить удельный вес влияющих на производительность и качество продукции факторов. Техническая политика должна быть политикой



Причинно-следственная диаграмма Каору Исикава

здорового смысла и конкретной работы. В условиях мировой глобализации достигнуть уровня производительности гигантов индустрии своими силами не получится, да и не надо. Обеспечив качество и гибкость производства, они сами придут.

А вот Центр компетенции для литейных производств необходим, но ОК должен быть помощником, а не бизнесменом, как большинство технопарков. Хочется обратить внимание на созданный в 2012 г. в США для ускорения процесса развития инновационных технологий при участии пяти ведомств (Минобороны, Минэнерго, Министерства торговли, Научного национального фонда и NASA), Национального института инновационного производства America Makes. И его девиз: «Будучи государственно-частным партнерством, мы внедряем инновации и ускоряем АМ (аддитивные технологии) / 3DP (3D-печать), чтобы повысить конкурентоспособность нашей страны на мировом рынке».

Еще раз подчеркну, что в литейном производстве качество – это кадры. Квалифицированные специалисты должны иметь не только достойную их квалификации заработную плату, но и возможность применять свои знания и видеть результаты своего труда. Повышая культуру производства и внедряя современные цифровые технологии, можно надеяться и на приток молодых кадров. И это очень важно.

Литература

1. **Евсеев В. И.** Проблемы литейного производства и возможные пути их решения. *Литье и металлургия* 3(67) 2012.
2. **Зленко М. А., Забеднов П. В.** Аддитивные технологии в опытном литейном производстве. Технологии литья металлов и пластмасс с использованием синтез – моделей и синтез – форм. Центра Аддитивных Технологий ФГУП «НАМИ» http://ksystec.ru/download/additiv_tech.pdf.
3. **Исикава Каору.** Японские методы управления качеством, М: «Экономика», 1988 г.
4. **Кукуй Д. М.** О повышении эффективности использования мощностей белорусского литейного производства. <http://limrb.by/interesting>.
5. Сайт Национального института инновационного производства America Makes. <https://www.americamakes.us/>.
6. Сайт фирмы EEW-PROTEC GmbH, <http://www.eew-protec.de/2.0.html>.
7. Сайт фирмы EOS GmbH Electro Optical Systems, <https://www.eos.info/en>.
8. Сайт фирмы ESI Group (ProCast), <http://www.esi-group.com/>.
9. Сайт фирмы ExOne, <http://www.exone.com/>.
10. Сайт фирмы FALCON-VISION ZRt., <http://www.falcon-vision.com/>.
11. Сайт фирмы GOM mbH <http://www.gom.com/>.
12. Сайт фирмы ROBOTIC SOLUTIONS INC. <https://www.roboticsolutionsinc.com/#>.
13. Сайт фирмы Voxeljet AG, <https://www.voxeljet.com/>.