

Выводы

Наиболее оптимальным методом для изготовления заготовок из бронзы БрО10С2НЗ для диффузионной сварки со сталью является метод непрерывно-пошагового литья вверх:

1. Позволяет использовать современное отечественное оборудование и оборудование стран СНГ, в частности порталную установку непрерывного литья вверх ПУВЛ-450.ПС (ООО «НЛ-Инжиниринг», Республика Беларусь).
2. Обеспечивает равномерную макро- и микроструктуру сплава БрО10С2НЗ.
3. Обеспечивает более высокие механические свойства, значительно превосходящие требования ОСТ 1 90054–72.
4. Увеличивает производительность процесса за счет увеличения коэффициента использования материала до 95 %; получения слитков с высоким качеством поверхности; снижения трудозатрат на механическую обработку слитков.
5. Позволяет прогнозировать и регулировать свойства слитков за счет изменения режимов литья.

ЛИТЕРАТУРА

1. Cu-10Sn-4Ni-3Pb Alloy prepared by crystallization under pressure: An experimental study / K. Song, Y. Zhou, P. Zhao, [и др.] // *Acta Metallurgica Sinica*. – 2013. – Т. 26. – № 2. – С. 199–205.
2. Review of cylinder block/valve plate interface in axial piston pumps: Theoretical models, experimental investigations, and optimal design / Zhao J., Yongling F., Jiming M. [и др.] // *Chinese Journal of Aeronautics*. Elsevier. – 2021. – Т. 34. – № 1. – С. 111–134.
3. Half-transient liquid phase diffusion welding: An approach for diffusion welding of SiCp/A356 with Cu interlayer / M. Hua, W. Guo, J. Ho [и др.] // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2008. – Т. 37. – № 5–6. – С. 504–512.
4. Захаров, А. М. Промышленные сплавы цветных металлов. Фазовый состав и структурные составляющие / А. М. Захаров. – М.: Металлургия, 1980. – 256 с.
5. Effect of cooling rate on C92900 bronze microstructure and properties / V. E. Bazhenov, A. Yu. Titov, I. V. Shkalei [и др.] // *Izvestiya vuzov. Tsvetnaya Metallurgiya (Universities' Proceedings Non-Ferrous Metallurgy)*. – 2021. – Т. 27. – № 2. – С. 25–39.
6. Structure and properties of C92900 antifriction bronze produced by upward continuous casting / L. D. Miteva, A. Yu. Titov, I. I. Baranov [и др.] // *Izvestiya. Non-Ferrous Metallurgy*. – 2025. – № 2. – С. 66–75.
7. Investigation of effect of casting speed on structure and properties of bronze rods C92900 Obtained by continuous casting upwards / V. E. Bazhenov, A. Yu. Titov, I. V. Shkalei [и др.] // *Metallurg*. – 2021. – № 7. – С. 44–51.
8. Герасименко, Е. А. Анализ структуры и разработка технологии получения литых заготовок из бронзы БрО10С2НЗ с целью изготовления из них изделий ответственного назначения / Е. А. Герасименко. – М., 2014. – 127 с.

REFERENCES

1. Song K. [et al.] Cu-10Sn-4Ni-3Pb Alloy prepared by crystallization under pressure: An experimental study. *Acta Metallurgica Sinica*. 2013, vol. 26, no. 2, pp.199–205.
2. Zhao J. [et al.] Review of cylinder block/valve plate interface in axial piston pumps: Theoretical models, experimental investigations, and optimal design. *Chinese Journal of Aeronautics*. Elsevier, 2021, vol. 34, no. 1, pp. 111–134.
3. Hua M. [et al.] Half-transient liquid phase diffusion welding: An approach for diffusion welding of SiCp/A356 with Cu interlayer. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2008, vol. 37, no. 5–6, pp. 504–512.
4. Zaharov A. M., Zaharov A. M. *Promyshlennyye splavy cvetnykh metallov. Fazovyy sostav i strukturnyye sostavljajushhie* [Industrial non-ferrous metal alloys. Phase composition and structural components]. Moscow, Metallurgija Publ., 1980, 256 p.
5. Bazhenov V. E. [et al.] Effect of cooling rate on C92900 bronze microstructure and properties. *Izvestiya vuzov. Tsvetnaya Metallurgiya = Universities' Proceedings Non-Ferrous Metallurgy*. 2021, vol. 27, no. 2, pp. 25–39.
6. Miteva L. D. [et al.] Structure and properties of C92900 antifriction bronze produced by upward continuous casting. *Izvestiya. Non-Ferrous Metallurgy*. 2025, no. 2, pp. 66–75.
7. Bazhenov V. E. [et al.] Investigation of effect of casting speed on structure and properties of bronze rods C92900 Obtained by continuous casting upwards. *Metallurg*. 2021, no. 7, pp. 44–51.
8. Gerasimenko E. A. *Analiz struktury i razrabotka tehnologii poluchenija lityh zagotovok iz bronzy BrO10S2N3 s cel'ju izgotovlenija iz nih izdelij otvetstvennogo naznachenija* [Analysis of the structure and development of technology for producing cast blanks from bronze BrO10C2N3 for the purpose of manufacturing critical products from them]. M., 2014, 127 p.



УДК 621.74

КЛАССИФИКАЦИЯ ДЕФЕКТОВ ПОВЕРХНОСТИ ОТЛИВОК И АНАЛИЗ ПРИЧИН ИХ ОБРАЗОВАНИЯ

Е. И. МАРУКОВИЧ, Ассоциация литейщиков и металлургов Республики Беларусь,

г. Минск, Беларусь, ул. Я. Коласа, 24

Ю. А. НИКОЛАЙЧИК, ЯБО ХОУ, Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: yuni@bntu.by

Рассмотрены вопросы улучшения качества отливок из стали и чугуна. Предпринята попытка сгруппировать и классифицировать наиболее распространенные дефекты на основе анализа и изучения процессов, протекающих при изготовлении отливок в разовых песчаных формах и во взаимосвязи с литейной формой.

Ключевые слова. Качество отливок, дефекты отливок, литейная форма, классификация дефектов.

CLASSIFICATION OF SURFACE DEFECTS AND ANALYSIS OF THEIR FORMATION CAUSES

E. I. MARUKOVICH, Association of Foundrymen and Metallurgists of Belarus,

Minsk, Belarus, 24, Ya. Kolas str.

Yu. A. NIKOLAYCHIK, HOU YABO, Belarusian National Technical University,

Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti Ave. E-mail: yuni@bntu.by

This article examines issues related to improving the quality of steel and cast iron castings. An attempt is made to group and classify the most common defects based on the analysis and study of processes occurring during the manufacture of castings in disposable sand molds and in relation to the casting mold.

Keywords: Casting quality, casting defects, casting mold, defect classification.

В литейном производстве получение отливок надлежащего качества является одним из главных критериев его эффективности. Вместе с тем сложность технологических процессов и операций, изменения в составе исходных шихтовых и формовочных материалов, а порой нарушения технологических инструкций ведут к вспышкам брака, что, в свою очередь, приводит к увеличению удельных затрат на производство годных отливок, включающих затраты на устранение дефектов. В итоге растет себестоимость изготовления отливок и снижается конкурентоспособность производства. Понимание причин образования дефектов, четкое соблюдение предписанной технологии, а также использование методов и способов профилактики дефектов позволяют в большинстве случаев решить поставленные задачи и обеспечить высокое качество отливок.

Согласно ГОСТ 15467-79, дефект – это каждое отдельное несоответствие продукции установленным требованиям. Для литейного производства основным видом продукции являются отливки, которые могут быть признаны бракованными в случаях, если, как минимум, один из установленных показателей их качества не соответствует допустимым значениям. На практике в зависимости от количества и видов дефектов, а также степени поражения дефектами отливок различают четыре группы: годные, условно годные, исправимый брак и окончательный брак. Отливки, полностью отвечающие всем установленным требованиям технической документации и стандартов, относятся к категории годных; условно годные – это отливки, имеющие небольшие отклонения от установленных требований (малозначительные дефекты), не оказывающие существенного влияния на эксплуатационные показатели детали или изделия в целом; исправимый брак – отливки, имеющие один или несколько устранимых дефектов, после исправления которых они могут быть допущены к дальнейшей обработке и использованию по назначению; неисправимый или окончательный брак – отливки, имеющие такие дефекты, исправление которых технически невозможно или экономически нецелесообразно, либо качество исправления которых невозможно проконтролировать [1].

ГОСТ 19200-80 устанавливает применяемые в науке, технике и производстве термины и определения основных понятий дефектов отливок из чугуна и стали. Согласно этому ГОСТу, дефекты отливок разделены на пять основных групп: несоответствие геометрии, дефекты поверхности, несплошности в теле отливки, включения и несоответствие по структуре (рис. 1).

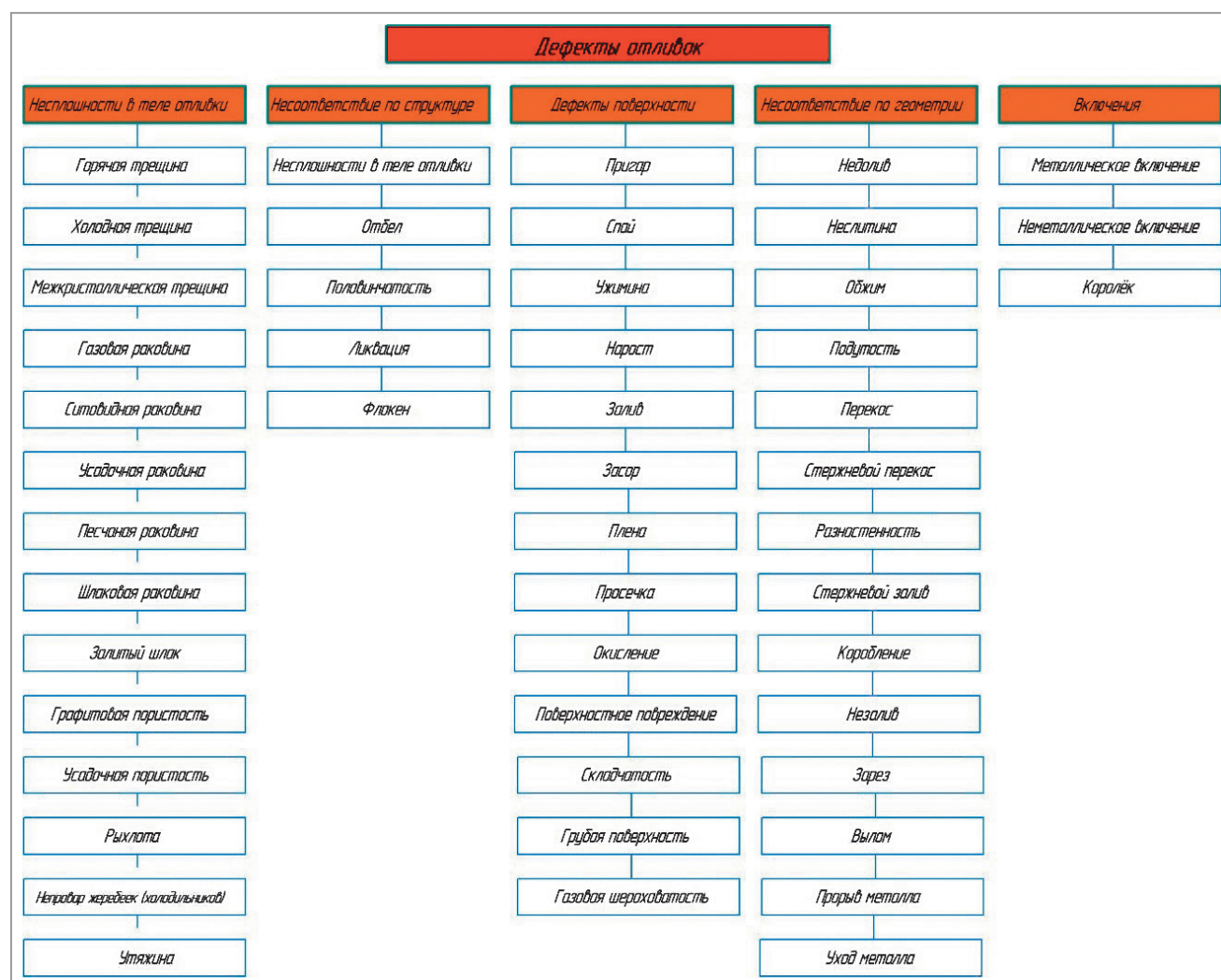


Рис. 1. Классификация дефектов в соответствии с ГОСТ 19200-80

С точки зрения разработки мероприятий по предупреждению дефектов отливок из стали и чугуна, особенно изготавливаемых с использованием разовых форм и стержней, определение дефекта, а также отнесение его к определенной группе в ряде случаев является недостаточным для нахождения эффективных приемов и методов их профилактики. Это обусловливается тем, что в процессе изготовления отливок происходят многокомпонентные термохимические, теплофизические и гидрогазодинамические процессы, природа и кинетика которых определяет формирование бездефектной отливки. Недостовверная или недостаточная информация о процессах, протекающих при изготовлении отливок из стали и чугуна в разовых песчаных формах и стержнях, может приводить к неточной либо неправильной идентификации того или иного дефекта, а также определению метода его устранения или предупреждения. С другой стороны, анализ и успешное изучение таких сложных процессов может быть реализовано путем выделения и раздельного изучения механизмов участия компонентов системы в различных видах взаимодействия по зонам отливки и литейной формы (стержня) с учетом структурных параметров таких зон, а также с учетом всех внутренних и внешних связей, взаимозависимости и соподчиненности отдельных элементов всей системы «отливка-литейная форма».

Принимая во внимание мнение [2], что особенно большое влияние на склонность отливок к образованию дефектов оказывает материал формы, в рамках настоящей работы предпринята попытка сгруппировать и классифицировать наиболее распространенные дефекты на основе анализа и изучения процессов, протекающих при изготовлении отливок в разовых песчаных формах и во взаимосвязи именно

с литейной формой, т. е. с позиции того, что литейная форма не только составляющая системы, которая определяет будущую конфигурацию отливки, но и как основополагающая единица системы «отливка-литейная форма», определяющая получение бездефектной и высококачественной отливки. Также рассмотрены некоторые виды брака из группы «дефекты поверхности».

Предварительный анализ показывает, что значительная часть дефектов (рис. 1) может быть вызвана недостаточным вниманием к качеству литейной формы (в широком смысле этого слова). Так как получение качественной литейной формы (стержня) связано не только с процессом формовки на формовочных и стержневых участках, а изначально определяется процессом выбора самой технологии формообразования, в том числе использованием тех или иных исходных формовочных материалов, проектирование ее геометрии, включающей определение плоскостей разъема, мест подвода расплава, конфигурации литниковой системы, использование различных видов прибылей, холодильников, применением разных видов покрытий и других технологических инструментов, имеющихся в арсенале литейщиков, и определяющих интенсивность физико-химических процессов в периоды заливки, кристаллизации и затвердевания отливки.

В [3] приведено разделение дефектов отливок на четыре большие группы, такие, как пористости, дефекты поверхности, дефекты, вызвавшие превращения в кварцевом песке при его нагреве, а также включения. По нашему мнению, такая классификация наиболее близко отражает истинную природу дефектов отливок и основана на физико-химических процессах взаимодействия отливки и литейной формы (стержня) (рис. 2).

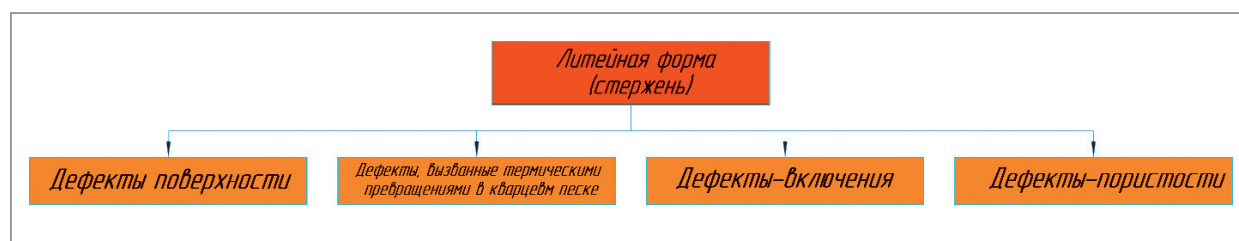


Рис. 2. Классификация дефектов в зависимости от литейной формы

Как было отмечено, успешное выявление конкретных физико-химических процессов, приводящих к образованию дефектов отливок, возможно путем выделения конкретных зон взаимодействия отливки и формы и анализа происходящих в них процессов. В связи с этим группа дефектов поверхности может быть определена как одна из первых и, очевидно, что особое внимание при анализе причин образования дефектов поверхности необходимо уделить контактной зоне «отливка-литейная форма». Качество поверхности (в том числе приповерхностных зон) уже собранной под заливку литейной формы определяет не только степень шероховатости будущей отливки, но и вероятность образования широкого разнообразия дефектов поверхности отливок, таких, как различные виды пригаров, складчатость, спай, плены и грубая шероховатость. У всех таких дефектов отличительным признаком является определенная степень искажения качества поверхности отливки. Таким образом, дефекты поверхности, которые могут возникать в отливках при их производстве в разовых песчаных формах, можно разделить как показано на рис. 3.

Известно [4], что температура в контактной зоне «расплав – литейная форма» (в том числе температура приграничных слоев) определяет процессы возможного проникновения расплава в капилляры литейной формы, вероятность и кинетику протекания химических реакций взаимодействия оксидов расплава с материалом литейной формы, а также напряженно-деформированное состояние системы отливка-литейная форма, в том числе возникновение термомеханических напряжений и др. В совокупности интенсивность описанных процессов является первопричиной широкой гаммы дефектов поверхности отливок.

В ГОСТ 19200-80 приводится общее определение дефекта поверхности пригар как дефекта в виде трудно отделяемого специфического слоя на поверхности отливки, образовавшегося вследствие физического и химического взаимодействия формовочного материала с металлом и его оксидами. Тем не менее, как видно из рис. 4, на практике различают несколько видов пригара, таких, как механический (или металлизированный), химический и термический. Это связано с тем, что природа процессов их образования различна.

Согласно известным представлениям о механизме возникновения механического пригара, считается [5], что необходимым и достаточным условием его образования является фильтрация расплава

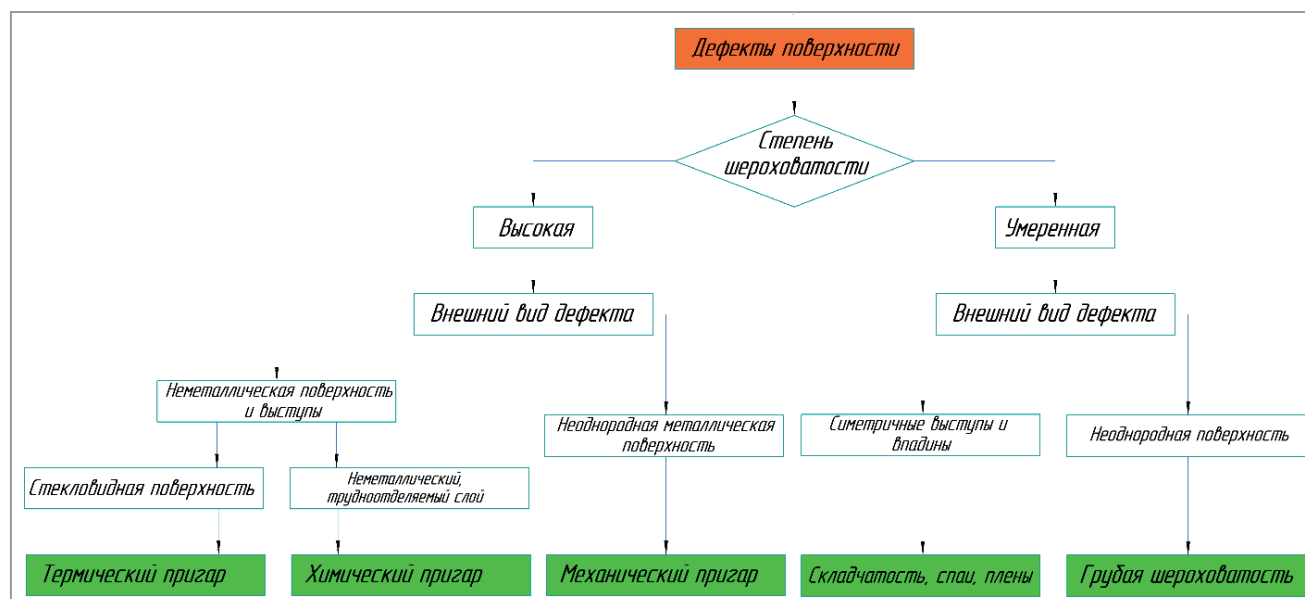


Рис. 3. Многоуровневое дерево дефектов поверхности отливок

в капилляры литейной формы, когда металлостатическое давление расплава в литейной форме (P_m) превышает капиллярное и газовое противодавления формы (P_k):

$$P_m \geq P_k = 2\sigma \cos \theta / r_{\text{эф}},$$

где σ – поверхностное натяжение расплава; θ – краевой угол смачивания расплавом формовочной смеси; $r_{\text{эф}}$ – эффективный радиус пор литейной формы.

В тоже время необходимо, чтобы температура в контактной зоне и приграничных слоях литейной формы была выше определенной температуры (критической температуры $T_{\text{крит.}}$), при которой сплав способен течь.

Считается, что значение $T_{\text{крит.}}$ должно лежать в интервале кристаллизации, при которой жидкий сплав вследствие выпадения твердой фазы теряет способность течь, т. е. до температуры, близкой к температуре нулевой жидкотекучести [5]. Существуют мнения, что для различных видов сплавов $T_{\text{крит.}}$ может принимать разные значения. Например, для сплавов, кристаллизующихся в виде твердого раствора (аустенитные стали), $T_{\text{крит.}}$ будет равна температуре, близкой к температуре ликвидус, а для сплавов, кристаллизующихся с большим содержанием эвтектики, $T_{\text{крит.}}$ близка к температуре солидус. Для сплавов, имеющих перитектическое превращение, рекомендуется $T_{\text{крит.}}$ принимать равной полусумме температуры ликвидус и температуры солидус сплава [6]. Для железоуглеродистых сплавов $T_{\text{крит.}}$ возможно определить исходя из диаграммы железо-цементит (рис. 4, а).

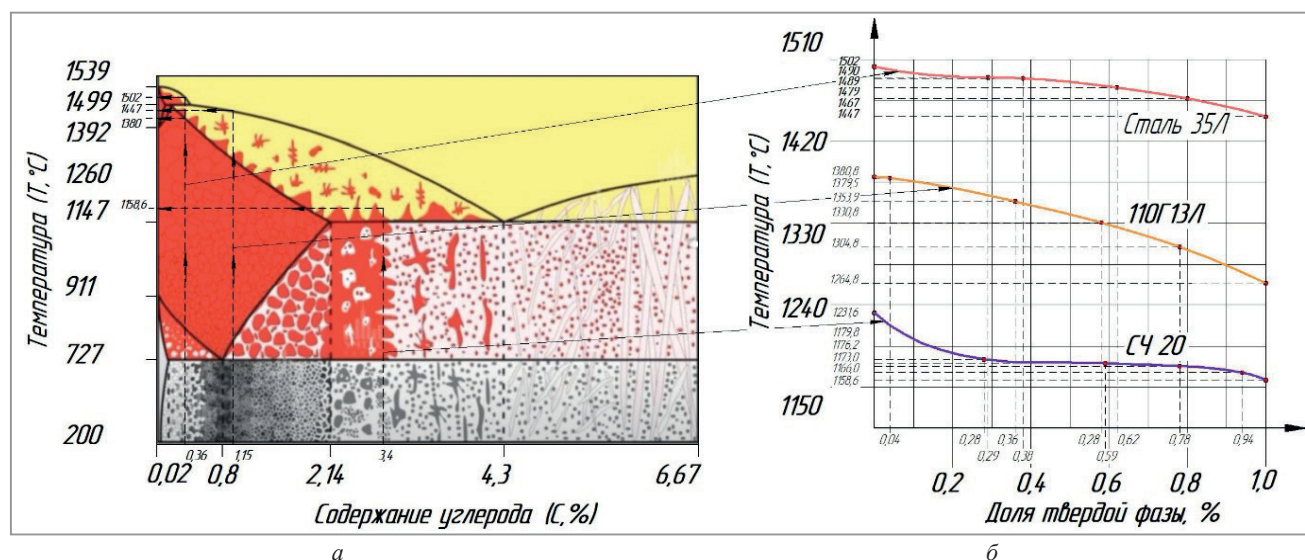


Рис. 4. Диаграмма состояния Fe-Fe₃C и определение критической температуры ($T_{\text{крит.}}$)

При определении $T_{\text{крит.}}$ необходимо учитывать тот факт, что если на поверхности отливки образовалась твердо-жидкая корочка, то под действием металлостатического давления во внутренних слоях отливки возможно выдавливание маточного расплава через кристаллический скелет поверхностной корки и его проникновение в поры литейной формы. Поэтому важной для анализа является информация о количестве (доле) твердой фазы, образующейся при затвердевании сплава (рис. 4, б). На рисунке схематически показано определение значения критической температуры для литейных сплавов, которые широко используются при получении отливок различного назначения: стали 35Л (ГОСТ 977-88), имеющей перитектическое превращение; стали аустенитного класса 110Г13Л (ГОСТ 977-88) и чугуна СЧ 20 (ГОСТ 1412-85), кристаллизующегося с определенным количеством эвтектики.

На рис. 5 представлены примеры механического (металлизированного) пригара на поверхности отливок, а его микроструктура приведена на рис. 6.

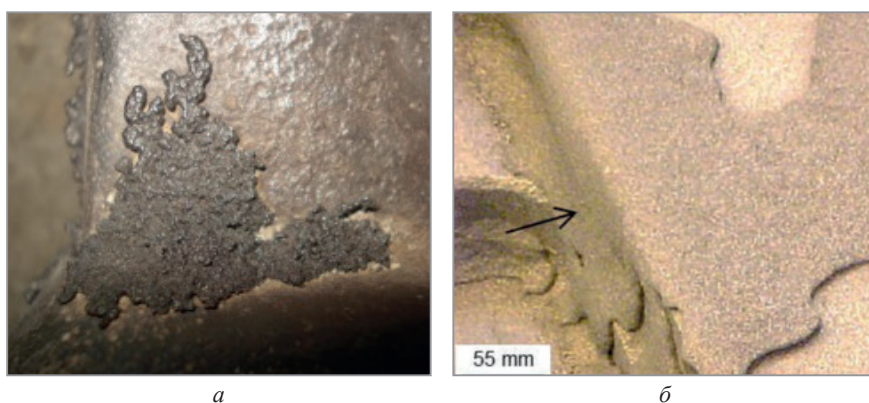
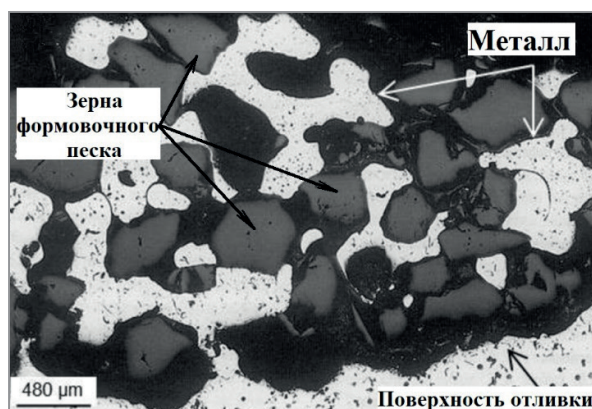
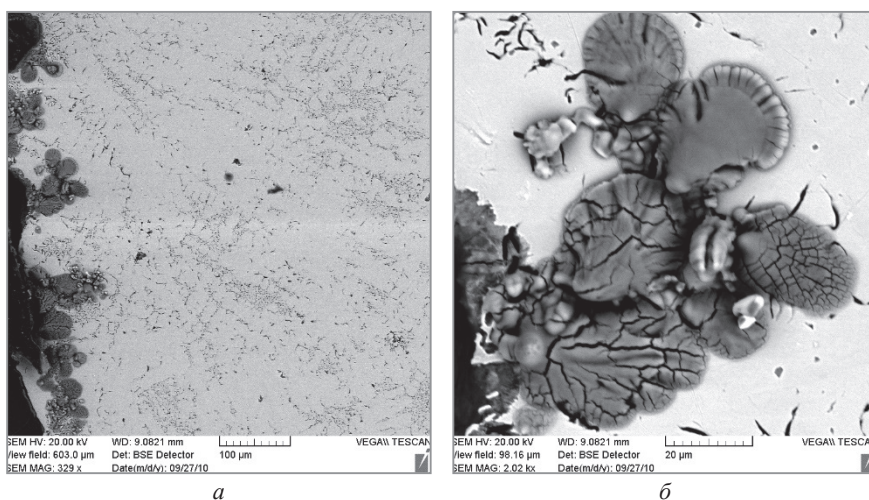


Рис. 5. Механический (металлизированный) пригар на поверхности отливок



б

Рис. 6. Микроструктура поверхности отливки, пораженная механическим (металлизированным) пригаром:
а – микроструктура поверхностного слоя отливки; б – включения зерен кварцевого песка на поверхности отливки;
в – микроструктура слоя механического (металлизированного) пригара

В отличие от механического (металлизированного) пригара образование химического пригара (рис. 7) сопровождается протеканием химических реакций между оксидами расплава и материалами, входящими в состав формовочной смеси, с образованием легкоплавких силикатных соединений (рис. 8). В большинстве случаев такими промежуточными соединениями являются мета- и ортосиликаты металлов, такие, как метасиликат железа – пироксен (FeSiO_4), ортосиликат железа – фаялит (Fe_2SiO_4), а также метасиликат марганца – родонит (MnSiO_4) и ортосиликат марганца – тефроит (Mn_2SiO_4). Известно, что в процессе термохимического взаимодействия, кроме указанных силикатов, также возможно образование и эвтектик, например, состава $\text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{SiO}_4$, $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{SiO}_4$, которые значительно повышают прочность пригарной корки.



Рис. 7. Химический пригар на поверхности отливок

Необходимо отметить, что образование орто- и метасиликатов существенно снижает краевой угол смачивания расплава, заливаемого в литейную форму и, тем самым, увеличивается риск его проникновения в литейную форму на большую глубину.

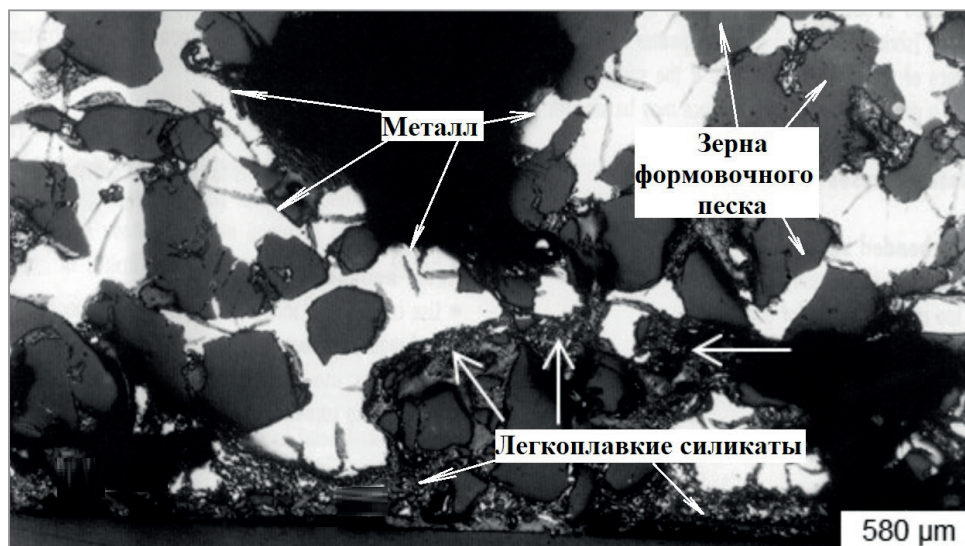


Рис. 8. Микроструктура поверхности отливки, пораженная химическим пригаром

Считается, что процесс образования различных видов пригара (в том числе химического и термического (рис. 9)) состоит из нескольких этапов: окисление расплава атмосферой литейной формы в период заполнения (рис. 10, а); фильтрация окисленного расплава в капилляры литейной формы (рис. 10, б); образование в контактной зоне «расплав – литейная форма» оксидной пленки (рис. 10, в) и цементирующих соединений (рис. 10, г). Если скорость образования оксидов будет превышать скорость их расхода на образование цементирующих соединений, то на границе раздела формируется зазор (слой оксидов достаточной толщины), по которому пригарная корка легко отделяется от отливки.

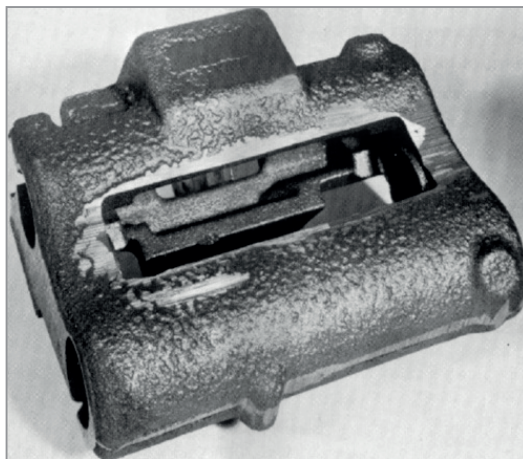


Рис. 9. Термический пригар на поверхности отливки

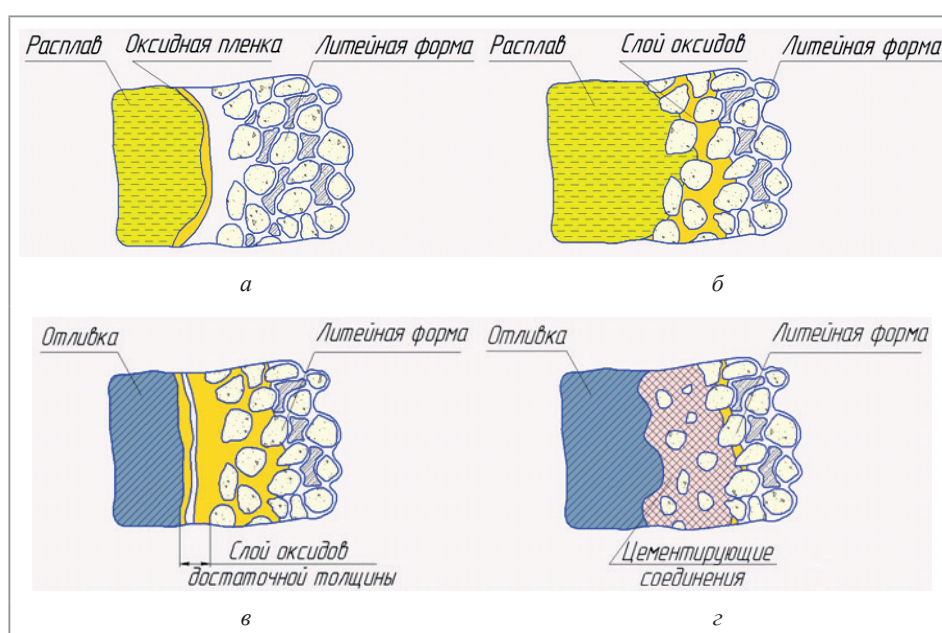


Рис. 10. Схема многостадийного процесса взаимодействия расплава и литейной формы:
 а – этап окисления расплава в период заполнения литейной формы; б – этап фильтрации расплава в капилляры литейной формы; в – этап формирования оксидной пленки;
 г – этап образования легкоплавких цементирующих соединений типа фаялита

Складчатость или морщинистость – это дефект отливки в виде множественных, беспорядочно расположенных, незначительных гладких возвышений и углублений на поверхности отливки (рис. 11). Они визуально выделяются тем, что середина канавок темнее остальной поверхности.

Дефект появляется преимущественно на горизонтальных или выпуклых поверхностях, а также на поверхностях тонкостенных отливок, затвердевших при высоких скоростях охлаждения и возникает вследствие пониженной жидкотекучести расплава. Как отмечается в [7], причина возникновения дефекта заключается в скоплении на поверхности литейной формы большого количества углерода, выделяемого при температурном разложении углеводородов, которые входят в состав связующих материалов. Предотвратить морщинистость можно путем уменьшения органических составляющих формовочной или стержневой смеси и улучшением вентиляции литейной формы, а также повышением температуры заливаемого расплава.

Спай – это дефект отливки в виде углубления с закругленными краями на поверхности отливки (рис. 12, а), образованный неполностью слившимися потоками расплава с недостаточной температурой или прерванного при заливке [7]. Известно, что поверхность спая практически всегда покрыта слоем оксидов. Основными мерами при профилактике спаев являются повышение температуры и сокращение времени заливки, подогрев литейной формы перед заливкой, а также применение теплоизолирующих противопопригарных покрытий.

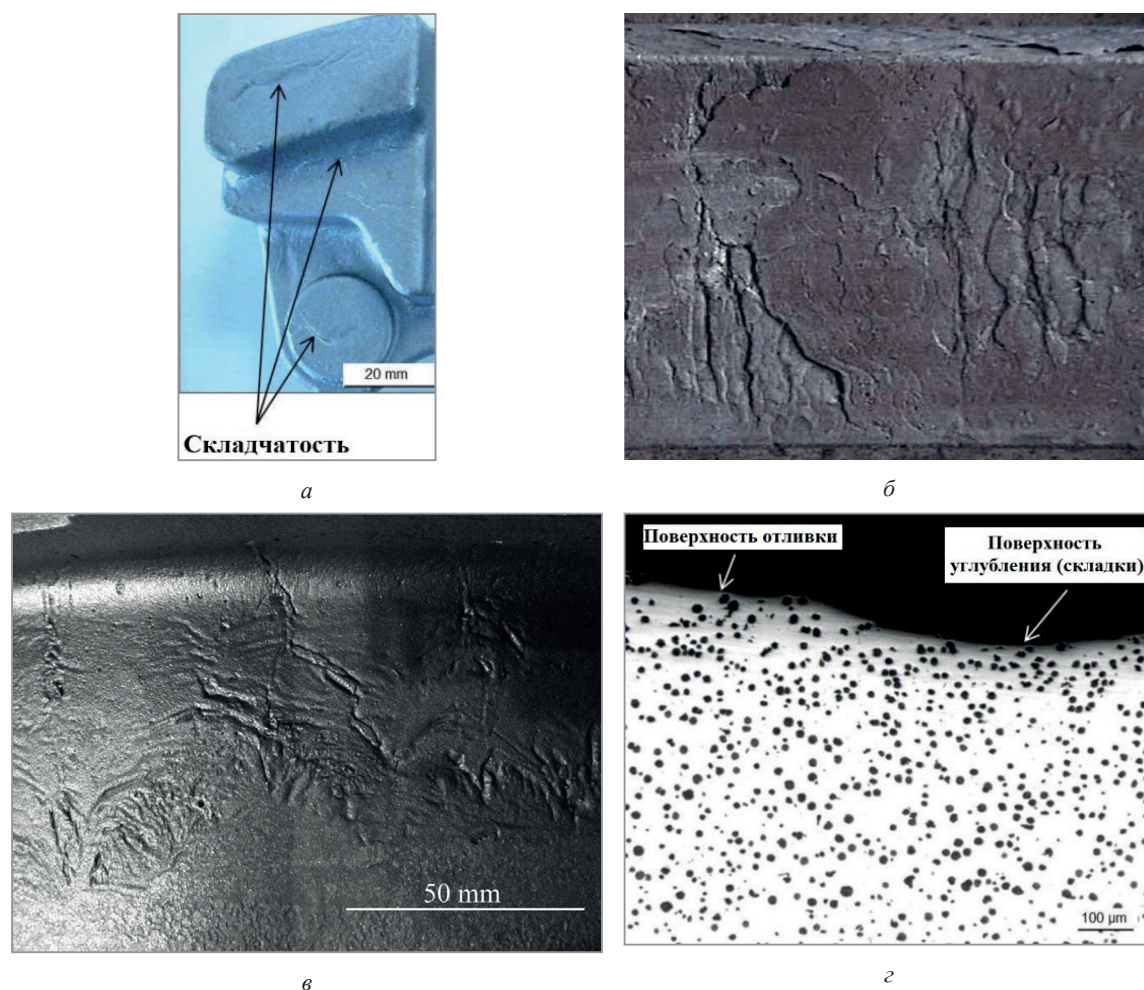


Рис. 11. Дефект отливки «Складчатость»: а – складчатость на поверхности отливки из чугуна; б, в – складчатость на поверхности отливок из стали; г – микроструктура складки

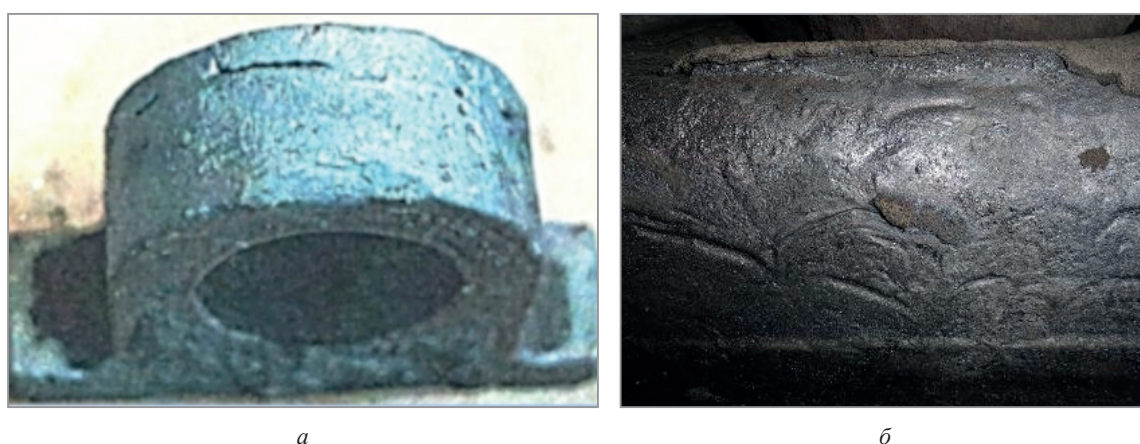


Рис. 12. Дефекты отливки «Спай» (а) и «Плена» (б)

Пленами (рис. 12, б) называют пленки на поверхности и внутри отливки, состоящие из оксидов с включениями формовочного материала. Механизм образования плен заключается в том [8], что оксидная пленка, образовавшаяся на поверхности поступающего в полость формы расплава, после достижения определенной толщины оказывает значительное сопротивление его движению. При недостаточном давлении расплав не может разрушить образовавшуюся пленку и дальнейшее заполнение литейной формы прекращается. В таком случае отливки получаются с недоливами, неспаями, нечеткими контурами и поверхностными пленами. При механическом разрушении оксидной пленки форма заполняется, но отливка получается с дефектами – пленами.

Грубая поверхность – это дефект отливки в виде шероховатости поверхности с параметрами, превышающими допустимые значения [9]. Грубая шероховатость (рис. 13, а) отливок во многом определяется рядом факторов и обстоятельств, таких, как качество поверхности моделей и стержневых ящиков, гранулометрического состава кварцевого формовочного песка, используемого для получения литейной формы или стержня, степени уплотнения формовочной или стержневой смеси. Также на образование грубой шероховатости влияют температура заливки и скорость охлаждения отливки, металлостатическое давление в литейной форме, а при исправлении такого дефекта влияют режимы дробеструйной обработки и размеры литой дроби, применяемой при очистке отливок.

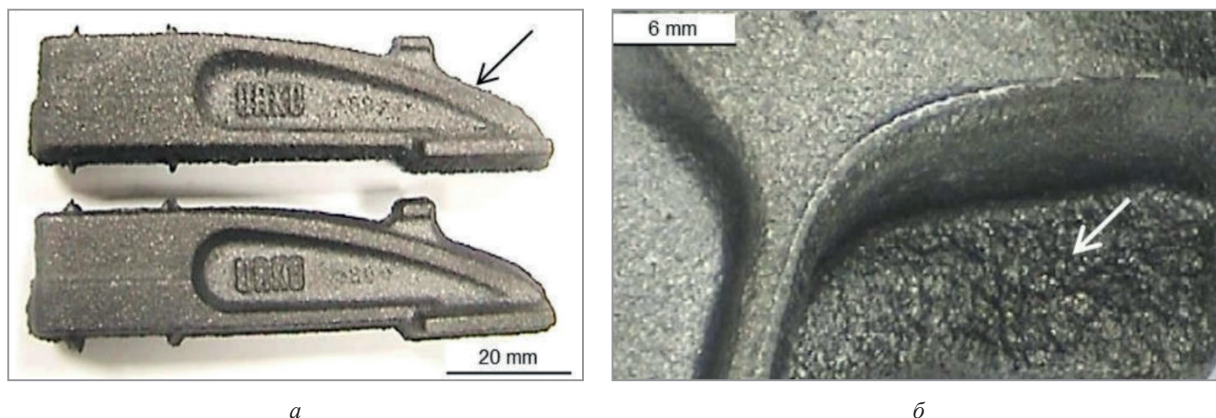


Рис. 13. Дефекты отливки «Грубая шероховатость»

Как правило, грубая шероховатость не влияет на выполнение функциональных назначений отливки и определяется требованиями заказчика отливок, но вместе с тем наличие грубой шероховатости на поверхности отливок вызывает дополнительные затруднения при их механической обработке и нанесении (при необходимости) каких-либо функциональных покрытий или красок. Этот дефект поверхности возникает на отливках в участках литейной формы или стержня с пониженной степенью уплотнения, а также в зонах тепловых узлов (рис. 13, б).

Таким образом, результаты приведенного анализа показывают, что предлагаемый подход к классификации дефектов, основанный на изучении физико-химических процессов в конкретных зонах системы «отливка-литейная форма», может быть положен в основу разработки новых и более детализированных классификационных схем, которые позволят найти и применить наиболее эффективные приемы и методы для профилактики дефектов отливок.

Необходимо отметить, что сегодня для предотвращения производственного брака, в том числе дефектов поверхности? возможно применение так называемой экспертной оценки путем применения гибридных экспертных систем, которые представляют собой интеллектуальные системы, оперирующие фактами [9], т. е. они опираются в том числе на знания специалистов-экспертов в соответствующей предметной области и объединяют в себе как теоретическое понимание проблемы, так и практические навыки ее решения.

Уже сегодня для автоматизации обнаружения поверхностных дефектов и их профилактики ведутся разработки по применению искусственного интеллекта и методов машинного обучения за счет использования нейронных сетей (например, Convolutional Neural Networks (CNN), Residual Neural Networks (ResNet), Support Vector Machine (SVM) and K-Nearest Neighbor (KNN), Recurrent Neural Networks (R-CNN) и др.), которые включают глубокое обучение, обработку изображений дефектов и создание баз данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Классификация дефектов отливок из чугуна и стали // Металит. – URL: <https://metalyt.com/wp-content/uploads/2015/12/Klasifikatsiya-defektov-otlivok-iz-chuguna-i-stali.pdf> (дата обращения: 07.10.2025).
2. Илларионов, И. Е. Пути улучшения качества отливок / И. Е. Илларионов // Литейное производство. – 2016. – № 1. – С. 39 – 42.
3. Sertuch, J. Casting Defects in Sand-Mold Cast Irons – An Illustrated. Review with Emphasis on Spheroidal Graphite Cast Irons / J. Sertuch, J. Lacaze // Metals. – 2022. – Vol. 12. – p. 504.
4. Цибрик, А. Н. Физико-химические процессы в контактной зоне металл-форма / А. Н. Цибрик. – Киев: Наукова думка, 1977. – 210 с.
5. Валисовский, И. В. Пригар на отливках / И. В. Валисовский. – М.: Машиностроение, 1983. – 192 с.