



УДК 669.

Поступила 21.11.2017

## ОБРЫВНОСТЬ ПРОВОЛОКИ ВО ВРЕМЯ ВОЛОЧЕНИЯ ПО ПРИЧИНАМ НАЛИЧИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ, НАСЛЕДОВАННЫХ С КАТАНКИ

### WIRE BREAKAGE DURING WIRE DRAWING DUE TO THE PRESENCE OF SURFACE DEFECTS, INHERITED FROM WIRE ROD

*Е. С. СЕРЕГИНА, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: nmg.czl@bmz.gomel.by*

*A. S. SIAROHINA, OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Zhlobin city, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: nmg.czl@bmz.gomel.by*

*Перечислены основные причины обрывов проволоки во время волочения, описаны признаки внешнего вида и особенности металлографической структуры разрушений, по которым можно идентифицировать вид и причину обрыва. Представлена трансформация дефектов в процессе волочения.*

*The main causes of wire breakage during drawing are listed, the appearance signs and peculiarities of metallographic structure of destruction are described. The type and cause of the breakage could be identified on basis of this description. The transformation of defects in the drawing process is presented.*

**Ключевые слова.** Проволока, катанка, обрыв, причина разрушения, дефект поверхности, микроструктура, текстура волочения.

**Keywords.** Wire, wire rod, breakage, cause of breakage, surface defect, microstructure, wire drawing texture.

В современных условиях производства обеспечение качества продукции на основе высокотехнологичных процессов и экономии материалов, ресурсов являются основой политики предприятия. Изготовление металлокорда для шин, проволоки для рукавов высокого давления, бортовой проволоки на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» включает в себя выплавку стали в электропечах, прокат в катанку на станах с непрерывным охлаждением, холодное волочение катанки в проволоку, одно-два патентирования проволоки, нанесение тонкого латунного покрытия гальваническим и химическим способами, мокрое волочение проволоки, свивку тонкой проволоки в металлокорд. При таком сложном цикле получения из блюма сечением 250×300 мм тонкой стальной латунированной проволоки диаметром 0,15–0,75 мм и металлокорда иногда случаются сбои в процессах на всех стадиях и образование дефектов, но дефект дает о себе знать в основном на последних стадиях производства – свивке в металлокорд, происходит обрыв проволоки. Чем грубее дефект, тем на более ранней стадии происходит обрыв проволоки, который в свою очередь вызывает простои оборудования, увеличение количества брака, снижение производительности труда.

Для обеспечения производства качественной проволоки без обрывов и простоев оборудования на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» ведется мониторинг обрывности, определение причин, анализ статистики по обрывности. Во многих случаях проблематично выявлять причины обрывов, которые произошли при свивке металлокорда, вследствие несоответствий на этапе сталеплавления или прокатного производства. Нельзя только по внешнему виду обрыва однозначно утверждать о его причине, так как внешний вид бывает одинаковый, а причины образования различные. Необходимо анализировать несколько факторов – внешний вид обрыва, структуру, стадию и технологию производства, на которой произошел обрыв, в некоторых случаях определять химический состав и механические свойства проволоки, анализировать статистические данные, иногда это сложная исследовательская работа. Поэтому представляет интерес опыт определения видов и причин обрывов проволоки, изготовленной из

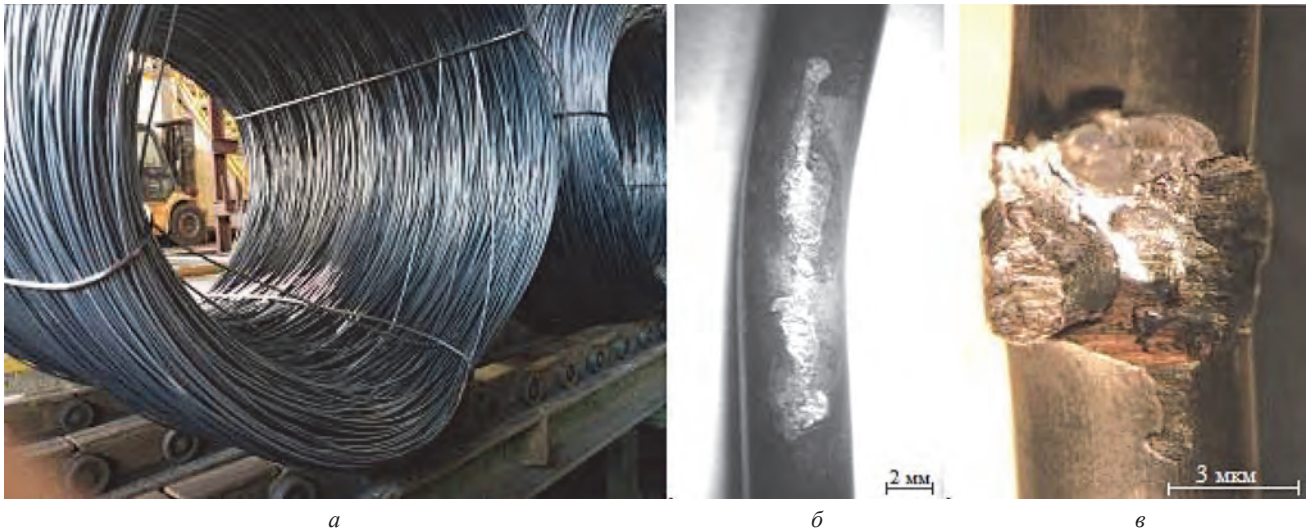


Рис. 1. Дефекты увязки бунтов катанки: *а* – внешний вид бунта катанки с увязкой; *б* – неглубокие повреждения в зоне увязки протяженностью 15 мм; *в* – глубокие повреждения в зоне увязки протяженностью 6–7 мм



Рис. 2. Дефекты транспортировки бунтов катанки диаметром 5,5 мм

катанки БМЗ. В данной статье представлены виды и причины обрывов проволоки, которые в большинстве случаев происходят на этапе грубосреднего волочения, латунирования, бронзирования, из-за наличия на ее поверхности разволоченных поверхностных дефектов различного происхождения, наследованных с катанки. Также показано, как изменяется внешний вид дефектов после прохождения проволоки через несколько волок при волочении.

Анализ обрывности на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» показывает, что самыми многочисленными обрывами, происходящими на участках грубосреднего волочения, латунирования, бронзирования сталепроволочных цехов, являются обрывы по причине наличия на катанке механических повреждений (задиры, истирания) разной глубины и протяженности, образующихся при увязке и транспортировке бунтов из прокатного в сталепроволочные цеха (рис. 1, 2). В зоне увязки в основном образуются неглубокие незначительные истирания протяженностью 5–15 мм, (рис. 1, б), но случаются и глубокие (рис. 1, в), особенно на малоуглеродистых марках стали. Дефекты транспортировки имеются на 10–20% бунтов, в основном это неглубокие повреждения протяженностью 30–70 см одновременно на нескольких витках (рис. 2, а), однако 1–3% бунтов катанки марки сталей 70, 80 имеют значительные повреждения (рис. 2, б) (на малоуглеродистых марках больше).

Чтобы определить внешний вид дефектов на проволоке после волочения и вероятность обрывов при волочении, катанку с дефектами от вязок, дефектами транспортировки поместили медным купоросом, затем бунты были установлены на станы для волочения. После волочения помеченные участки проволоки отобраны и исследованы. На рис. 3 показаны помеченные участки волоченной проволоки, изготовленной из катанки с неглубокими поверхностными повреждениями, аналогичными представленным на рис. 1, б. Незначительные неглубокие истирания на катанке от увязки протяженностью 5–15 мм приводят к образованию на проволоке дефектной поверхности повышенной шероховатости с микротрещинами протя-



Рис. 3. Поверхностные дефекты на проволоке диаметром 1,97 мм протяженностью ~3 см, изготовленной из катанки 5,5 мм, марки 80 с незначительным дефектом увязки протяженностью ~10 мм

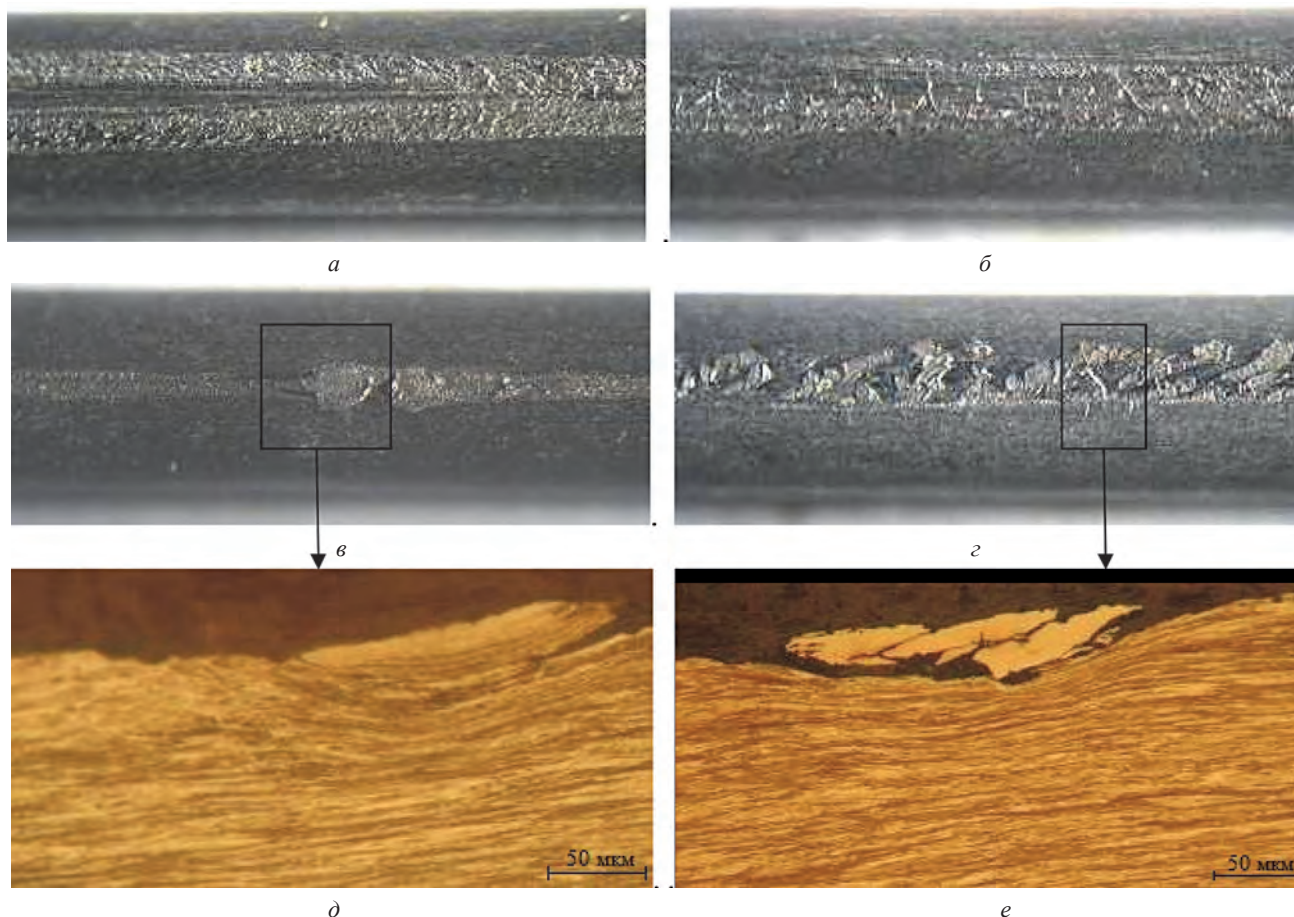


Рис. 4. Типичный вид (*a–z*) и микроструктура (*d, e*) поверхностных дефектов проволоки диаметром 1,97 мм, изготовленной из катанки с дефектами транспортировки: *a, б* – светлые участки повышенной шероховатости с микротрещинами; *в* – трещины; *г* – трещины в зоне мартенситной структуры; *д* – трещины в зоне неоднородной сплюсненной текстуры; *е* – трещины в зоне мартенситной структуры (*д, е* – продольное сечение проволоки, травление в реактиве «Нитал 2%»)

женностью в несколько сантиметров в зависимости от диаметра проволоки. Глубина трещин на такой дефектной поверхности незначительна, поэтому они не вызывают обрыв проволоки.

На рис. 4 показаны помеченные участки волооченной проволоки, изготовленной из катанки с поверхностными повреждениями, аналогичными представленным на рис. 2, *a*, полученными при транспортировке бунтов.

Дефекты на поверхности проволоки представляют собой светлые, блестящие на некоторых участках, неоднородные по ширине и длине прерывистые полосы зон повышенной шероховатости, микротрещин, трещин (рис. 4, *a, б, в*). Протяженность дефектных участков зависит от степени механического повреждения катанки и диаметра проволоки, может быть длиной от нескольких сантиметров до 10 м. На некоторых участках имеется хрупкая структура мартенсита с многочисленными трещинами, которую можно идентифицировать по интенсивному металлическому блеску и четкой геометрической форме трещин (рис. 4, *г*). Микроструктура проволоки в зоне поверхностных дефектов неоднородная – в зоне повышенной шероховатости, микротрещин изменения в текстуре волочения отсутствуют, в зоне более глубоких

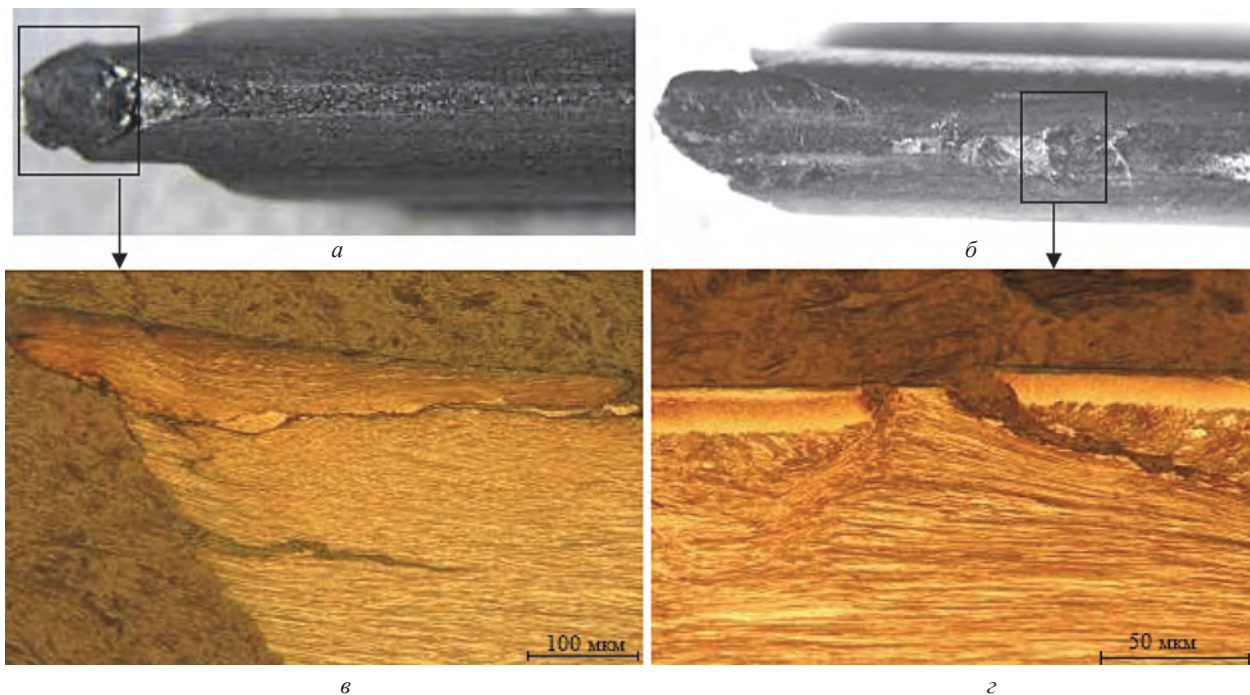


Рис. 5. Вид и микроструктура обрывов проволоки по причине наличия механических повреждений на катанке: *a* – обрыв проволоки, трещины без образования мартенситной структуры; *б* – обрыв проволоки, трещины по поверхностному мартенситу; *в* – неоднородная текстура, чрезмерно сжатые участки поверхности в зоне трещин; *г* – структура мартенсита в зоне трещин (*в*, *г* – продольное сечение проволоки, травление в реактиве «Нитал 2%»)

трещин – неоднородная неупорядоченная текстура, чрезмерно сжатые сплюснутые локальные участки поверхности, трещины глубиной 0,01 мм и более (рис. 4, *д*); глубина мартенситной структуры и трещин на некоторых участках достигает 0,05 мм (рис. 4, *е*).

Обрывы проволоки на грубом волочении на диаметре 1,97–1,60 мм из катанки с дефектами транспортировки, представленными на рис. 2, *а*, во время эксперимента не происходили, но наличие на поверхности структуры мартенсита, трещин является потенциально опасным фактором, который может привести к обрыву при дальнейшем производстве или обрыву готовой продукции. Обрывы проволоки подобного вида часто случаются на размотке агрегатов латунирования и бронзирования, где проволока подвергается изгибам. Необходимо отметить, что поверхностные дефекты, наследованные с катанки, всегда есть на проволоке, но обрывы случаются не по каждому дефекту, а лишь по некоторым.

К обрывам на стадии грубого, среднего волочения, стадии латунирования, бронзирования приводят глубокие механические повреждения катанки. Обрывы проволоки имеют внешний вид, аналогичный дефектам, представленным на рис. 3, 4, отличаются глубиной трещин, глубиной структуры поверхностного мартенсита. Обрывы проволоки по причине наличия механических повреждений катанки представляют собой хрупкие разрушения по разволоченным поверхностным трещинам поперечного характера (рис. 5).

В зависимости от степени повреждения на поверхности катанки от механического воздействия образуется локальный наклеп, на некоторых участках – структура мартенсита. При волочении марки стали 90 обрывы по причине механических повреждений катанки происходят уже на первом блоке волочильного стана или перед ним, при этом для обрыва достаточно незначительного истирания с образованием поверхностного мартенсита глубиной несколько микрон. При волочении менее углеродистых марок стали проволока рвется после обжатия на нескольких волокнах, в большинстве случаев после последней или на размотке агрегатов бронзирования (латунирования). В обрыве проволоки после обжатия на нескольких блоках поверхностные дефекты представляют собой светлые, блестящие на некоторых участках, неоднородные по ширине и длине, прерывистые полосы зон повышенной шероховатости, микротрещин, трещин, расположенные по образующей вдоль оси проволоки (рис. 5).

В некоторых случаях дефектные полосы расположены на поверхности проволоки по нескольким образующим в зависимости от степени развития дефекта на катанке. Протяженность дефектного участка может быть от 0,5 см до нескольких метров, дефектная полоса может заканчиваться, затем появляться вновь. Микроструктура обрыва проволоки в дефектной зоне неоднородная – чрезмерно сжатые сплю-

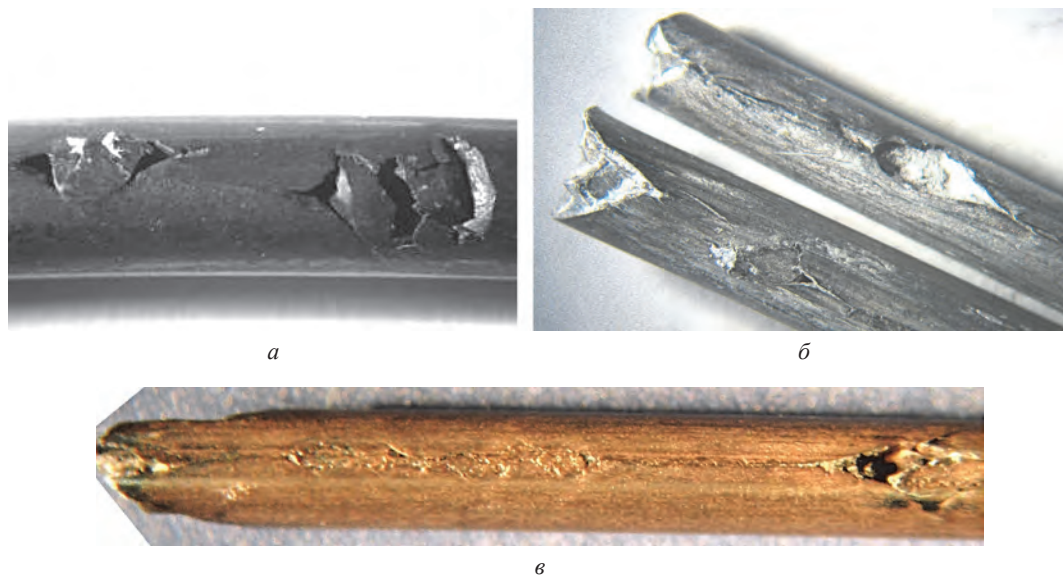


Рис. 6. Внешний вид катанки диаметром 5,5 мм (а) и обрывов проволоки (б, в) с вкатанными инородными частицами

щенные локальные участки поверхности, отсутствие упорядоченной текстуры, по сравнению с однородной текстурой деформации во всем сечении проволоки, трещины различной глубины (рис. 5, в, з). На некоторых участках дефектной зоны с трещинами наблюдается структура мартенсита, если проволока не проходила термообработку в сталепроволочном цеху (рис. 5, з). Трещины как в зоне мартенсита, так и без него могут иметь глубину от нескольких микрон до нескольких миллиметров. Обезуглероженный слой, окалина в дефектной зоне отсутствуют, если проволока не проходила термообработку в сталепроволочном цеху.

Дефекты типа задиров и истираний различной глубины и протяженности имеются на катанке всегда в зоне увязки бунтов, образуются при транспортировке и могут являться причинами обрывов проволоки. Однако обрывы на этапе грубосреднего волочения происходят не по каждому дефекту, а лишь по некоторым. Поэтому можно предполагать, что существуют другие факторы, связанные с качеством подготовки поверхности к волочению, режимами волочения и т. д., которые способствуют разрушению проволоки в зоне дефекта. Например, 90% обрывов происходят на проволоке, изготовленной на прямоточных станках, где применяются большие обжатия и высокие скорости. Однако наличие на проволоке участков с трещинами по причине механических повреждений катанки является важным и основным влияющим фактором.

2–3% обрывов на грубосреднем волочении, бронзировании и латунировании составляют обрывы по причине вкатанных инородных и стальных частиц, наследованных с катанки, образовавшихся в процессе ее проката (рис. 6).

Поверхностные дефекты катанки прокатного происхождения (вкатанные твердосплавные и стальные частицы) образуются из-за внедрения в поверхность прокатываемой заготовки инородных частиц в случаях разрушения прокатных валков, элементов проводковой и кантующей арматуры. По внешнему виду на волоченной проволоке указанные дефекты похожи на дефекты по причине механических повреждений с катанки, также представляют собой локальные участки разволоченных трещин поперечного характера. Однако в большинстве случаев дефекты из-за вкатанных инородных твердосплавных и стальных частиц более глубокие, часто локальные участки с трещинами поперечного характера соединены продольной трещиной (рис. 6, в). В случае протяженных и глубоких вкатанных частиц на катанке проволока расслаивается во время волочения по продольной трещине. Вкатанные в поверхность инородные и стальные частицы имеют микроструктуру, отличную от структуры основного металла – это частицы твердого сплава или стальные частицы другой марки, отличающейся от марки основного металла. На поверхности основного металла в дефектной зоне вокруг вкатанных частиц и в зоне трещин, образовавшихся при прокате из-за вкатанных частиц, в микроструктуре имеются обезуглероживание, окалина, в некоторых случаях сорбит отпуска, в некоторых случаях мартенсит.

Главной, характерной и отличительной особенностью поверхностных дефектов по причине механических повреждений катанки от поверхностных дефектов прокатного происхождения от поверхностных дефектов разволоченного сварного шва является отсутствие в микроструктуре металла в зоне дефектов

и трещин обезуглероженного слоя, окалины, сорбита отпуска (если проволока не проходила термообработку в сталепроволочном цеху). Отличие по внешнему виду от дефектов разволоченного сварного шва – отсутствие следов зачистки поверхности абразивным инструментом.

Для достоверной идентификации поверхностных дефектов, определения причин обрывов в каждом случае необходимо анализировать внешний вид и обязательно исследовать микроструктуру дефектной зоны. При необходимости для конкретизации источника образования частиц исследуется элементный состав вкатанных инородных частиц на растровом электронном микроскопе с рентгеновским микрозондом.

### Международные мероприятия по литью и металлургии в 2018 году Foundry and Metallurgy International Events in 2018

Дата Dates	Наименование мероприятия Name of the Event	Место проведения Venue	Сайт Website
16–18 января Jan 16–18	Международная выставка литья под давлением EUROGUSS 2018 International Trade Fair for Die Casting EUROGUSS 2018	г. Нюрнберг, Германия Nuremberg, Germany	www.euroguss.de
1–3 марта March 1–3	Металл и Сталь/Выставка Среднего Востока 2018 Metal & Steel/FabEx Middle East Exhibition 2018	г. Каир, Египет Cairo, Egypt	
4–6 марта March 4–6	Гуанчжоуская Международная выставка литья и форм АЗИЯ 2018 Guangzhou International Mould & Die Exhibition AsiaMold 2018	г. Гуанчжоу, Китай Guangzhou, China	asiamold@china.messefrankfurt.com
20–22 марта March 20–22	Петербургская техническая ярмарка Petersburg Technical Fair	Санкт-Петербург, РФ S. Petersburg, Russia	www.ptfair.ru
3–5 апреля April 3–5	Киевская техническая выставка 2018 – машиностроение, металлургия, литье, трубы и др. Kyiv Technical Fair 2018 – machine building, metallurgy, foundry, pipes etc.	г. Киев, Украина Kiev, Ukraine	www.ies-expo.com.ua
10–13 апреля April 10–13	Международная выставка литейного производства и металлургических технологий «ЛитМетЭкспо 2018» International Foundry and Metallurgical Technologies Trade Fair LitMetExpo 2018	Минск, Беларусь Minsk, Belarus	www.alimrb.by www.minskexpo.com
16–20 апреля April 16–20	Проволока 2018 Wire 2018	Дюссельдорф, Германия Dusseldorf, Germany	www.wire-tradefair.com
26 апреля April 26	22 Глобальная конференция по поставкам литья 2018 22 <sup>nd</sup> Global Foundry Sourcing Conference 2018	Шанхай, Китай Shanghai, China	www.foundry-suppliers.com http://castings.foundry.cn
26–27 апреля April 26–27	Большая техническая конференция по литью Big Foundry Technical Conference 2018	Зальцбург, Австрия Salzburg, Austria	
23–25 мая May 23–25	17 Международная конференция литейщиков Точное литье и научные знания 17 <sup>th</sup> International Foundrymen Conference Hi-tech Casting Solution and Knowledge Based Engineering	Опатия, Хорватия Opatija, Croatia	www.simet.unizg.hr
23–25 мая May 23–25	Литье и металлургия CAST-EX Casting and Metallurgy CAST-EX	Нитра, Словакия Nitra, Slovakia	www.agrocomplex.sk
23–25 мая May 23–25	27 Международная конференция по металлургии и материалам МЕТАЛЛ 2018 27 <sup>th</sup> International Conference on Metallurgy and Materials METAL 2018	Брно, Чехия Brno, Czech Republic	www.metal2018.com.en
29.05–01.06 May 29–June 6	Литмаш 2018 (+Трубы, Металлургия) Litmash 208 (+Tubes, Metallurgy)	Москва, Россия Moscow, Russia	www.metallurgy-russia.ru
5–8 июня June 5–8	Форум по литью Фокаст Focast Foundry Forum	Познань, Польша Poznan, Poland	www.focast.pl/en
7–10 июня June 7–10	Конгресс по литью Норвежской литейной ассоциации Annual Foundry Congress of Norwegian Foundry Technical Association	Осло, Норвегия Oslo, Norway	www.stoperi.org
13–16 июня June 13–16	Интерформа-Нагойя, Литье и формы Азия, технологии штампа Японии Intermold-Nagoya, Die & Mold Asia, Japan Metal stamping technology	Нагойя, Япония Nagoya, Japan	www.intermold.jp
19–21 июня June 19–21	13 Международная выставка РОСМОЛД 2018. Формы, пресс-формы, штампы 13 International Exhibition ROSMOULD 2018. Moulds, die moulds, stamps	Москва, Россия	www.rosmould.ru
12–14 сентября Sept 12–14	37 Национальная Конференция Ассоциации металлургов Италии 37th National Conference of Italian Metallurgical Association (AIM)	Болонья, Италия Bologna, Italy	www.aimnet.it
23–27 сентября Sept 23–27	73 Всемирный Конгресс по литью «Креативное литье» 73 <sup>rd</sup> World Foundry Congress «Creative Foundry»	Краков, Польша Krakow, Poland	www.73wfc.com
25–27 сентября Sept 25–27	22 Международная Ярмарка литейных технологий МЕТАЛЛ 2018 22 <sup>nd</sup> International Fair of Technologies for Foundry METAL 2018	Кельце, Польша Kielce, Poland	www.targkielce.pl
1–5 октября Oct 1–5	Международная выставка по литью ФОНД-ЭКС2018 International Foundry Fair Fond-Ex 2018	Брно, Чехия Brno, Czech Republ	www.bvv.cz
9–11 октября Oct 9–11	12 Всемирная ярмарка и конференция «Алюминий 2018» 12 <sup>th</sup> World Trade Fair & Conference Aluminium 2018	Дюссельдорф, Германия Dusseldorf, Germany	www.aluminium-messe.com
16–17 октября Oct 16–17	XXVI Международная конференция «Литейное производство и металлургия 2018. Беларусь» XXVI International Conference «Foundry production and metallurgy 2018. Belarus»	Минск, Беларусь Minsk, Belarus	www.alimrb.by
25–27 октября Oct 25–27	Международная выставка трио по литью и металлургии 2018 года International Trade FairTrio 2018 foundry and metallurgy	Стамбул, Турция Istanbul, Turkey	www.ankiros.com