



doi: 10.18720/CUBS.69.1

Улавливание раскаленных капель металла при сварочном процессе в системе промышленной вентиляции

Air purification from hot metal droplets in the industrial ventilation system during welding

К.И. Стрелец ^{1*}, М.Б. Китаин ²Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого, Санкт-Петербург, РоссияK.I. Strelets ^{1*}, M.B. Kitain ²Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
St. Petersburg, Russia

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

фильтрация капель расплавленного металла;
прямоточный циклон;
разбрызгивание металла при сварке;
воздухоочистка;
воспламеняющаяся пыль;

KEYWORDS

hot metal droplets filtration;
uniflow cyclone;
weld spatter;
air purification;
explosive dust;

ИСТОРИЯ

Подана в редакцию: 08.08.2018
Принята: 17.09.2018

ARTICLE HISTORY

Submitted: 08.08.2018
Accepted: 17.09.2018

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается возможность предотвращения попадания горячих брызг металла, образующихся при сварке в систему промышленной вентиляции и пылеочистное оборудование. Застывшие брызги металла являются не только загрязнителем воздуха рабочей зоны, но и могут стать причиной возгорания в случае попадания в систему промышленной вентиляции при соприкосновении с промышленным фильтром. В результате эксперимента предложена методика определения времени остывания раскаленных капель металла, установлены основные характеристики процесса выделения раскаленных частиц металла, такие как время остывания капель до величин теплосодержания, способных вызывать загорание тканевых фильтров пылеочистных установок. Определена эффективность гашения горячих брызг в системе предварительной очистки воздуха в виде прямоточного циклона, установленного в системе промышленной вентиляции.

ABSTRACT

Weld spatter properties and ways to protect filters from the burning weld splatters were analyzed in the article. It was determined that solidified spatter can be considered as an active agent in environment pollution due to high dispersion, and there is a mass excess comparing with spatter spray. In case of flowing to the ventilation system hot metal drops may cause the fire in case of the contact with the filter material. The series of the experiments done had shown major characteristics of the hot metal drops creation process and time of their self-cooling. The efficiency of hot metal droplets capture and slaking in a uniflow cyclone was determined.

Содержание

1.	Введение	1
2.	Методы	2
3.	Результаты и обсуждение	7
4.	Выводы	7

1. Введение

Разбрызгивание металла при сварке – это нежелательный, технически неэффективный расход сварочной проволоки, сопровождаемый завариванием брызгами сварочных мундштуков и привариванием брызг на свариваемый материал, а также опасный производственный фактор, приводящий к ожогам и пожарам.

Разбрызгивание жидкого электродного металла является следствием газодинамического удара, возникающего при разрыве перемычки между сварочной проволокой и каплей, переходящей в сварочную ванну. Возникающее при этом давление направлено радиально от места взрыва. При этом возникает вероятность выброса капель жидкого металла не только самой перемычки, но и жидкого металла, находящегося на торце электрода. [1] Жидкая капля, вылетая из зоны дуги, быстро переходит в твердое состояние. Начальная температура твердой частицы от 1500 до 1130°C [1-5].

Температура капель (брызг) расплавленного металла через 1 секунду после контакта с поверхностью свариваемого изделия составляет 250 - 500°C в зависимости от контактного диаметра их взаимодействия и толщины свариваемого металла, а через 6 -7 секунд тепловыделение практически равно 0 [6].

Расчеты по ГОСТ 12.1.004-91 показывают, что кристаллизирующаяся капля расплавленного металла диаметром 0,5 мм через 1,1 сек., после её образования сохраняет температуру 852°C и может передать окружающей среде 0,16 Дж тепла, что достаточно для возгорания большинства горючих материалов.

Застывшие брызги металла в силу высокой дисперсности также являются активным загрязнителем окружающей природной среды. Брызги металла в фазе кристаллизации имеют шаровидную форму. Максимальный размер брызг несколько больше диаметра сварочной проволоки, минимальные размеры достигают десятых и сотых долей миллиметра. Основная масса брызг при стабильных процессах сварки приходится на капли размером в 2/3 диаметра проволоки. В зависимости от технологических условий сварки образующиеся брызги расплавленного металла классифицируются как мелкие (<0,2 мм), средние (0,2–0,5 мм) и крупные (> 0,5 мм) [6–10].

Причем масса брызг превышает массу сварочного аэрозоля. Однако в расчетах вредных выбросов при сварке доля брызг не учитывается [3,11].

Неблагоприятные последствия разбрызгивания металла приобретают новое значение в связи с применением средств очистки воздуха при сварке на основе полимерных нетканых материалов. Воздухоприемные устройства (ВУ) фильтровентиляционных установок (ФВУ) по условиям их эффективной работы располагаются на расстоянии 0,25 – 0,40 м от сварочной дуги. Согласно исследованиям [2,16] они захватывают не менее 75% сварочного аэрозоля и часть подлетающих к плоскости всасывания ВУ брызг расплавленного металла.

Согласно [12-17] коэффициент потерь электродного металла разбрызгиванием ψ определяется по разнице массы израсходованного и наплавленного металла. Фактическое значение ψ для электродов с покрытием варьируется в пределах 5 – 20%. Для стабильных процессов сварки в углекислом газе электродами диаметром до 2 мм, значение ψ составляет 5 - 8 % и не превышает 15 %, а при сварке в CO₂+Ar – 5–7 %. Примерно 10–30 % образующихся брызг расплавленного металла при сварке на средних режимах в зависимости от физических условий сварки налипают и привариваются к рабочим участкам сопел, токоподводящих мундштуков (ТМ), входящих в состав сварочных горелок, а также следящих устройств сварочных автоматов и роботов. Остальная часть – более мелких капель – (в качестве брызг – в жидком состоянии и твердых шаровидных частиц – в состоянии кристаллизации), разлетается по сторонам от сварочного шва.

Публикации [11,12,18-24] по разбрызгиванию металла устанавливают факт и причину, но не характеризуют скорости разлета и скорость снижения температуры капель, в том числе по фракциям.

Целью работы является предотвращение попадания капель в фильтровальные установки на стадии предварительной очистки. Для достижения цели необходимо определить эффективность улавливания раскаленных капель прямоточным циклоном, а также получить эмпирические данные по скорости остывания и размеру капель. Объектом исследования является эффективность противоточного циклона при улавливании раскаленных брызг металла.

2. Методы

Для получения информации о размерах, дальности полета и температуры брызг расплавленного металла испытательной лабораторией АО «СовПлим» проведена серия экспериментов.

В промышленности для торможения движения твердых горячих капель металла от сварки и резки применяются сухие инерционные пылеуловители: пылевые камеры, жалюзийные пылеуловители и центробежные циклоны.

Примечание: Разработчики этих устройств используют термин – искрогасители, что применительно к остывающим негорючим каплям металла не корректно. В ГОСТ 53323-2009 «Огнепреградители и искрогасители. Общие технические требования. Методы испытаний» определено, что искрогаситель сухого типа – это устройство, устанавливаемое на выхлопных коллекторах различных транспортных

средств, силовых агрегатов и обеспечивающее улавливание и тушение искр в продуктах горения, образующихся при работе топок и двигателей внутреннего сгорания. Остывающая капля не является продуктом горения, её «гашение» является снижением тепловой мощности до величин не вызывающих при соприкосновении возгорания пожароопасных материалов. Снижение тепловой мощности капли происходит передачей тепла воздуху и материалам конструктивных элементов пылеуловителя.

Изменение направления прямолинейного движения твердых остывающих капель использовано в установках серии «JETCLEAN» итальянской компании CORAL s.p.a – лабиринтный фильтр, в установке FILTERCUBE немецкой фирмы ТЕКА – медный жалюзийный фильтр, в ФВУ АО СовПлим (ПМСФ и другие) – осадительная камера. Центробежное движение остывающих капель использовано в прямоточном циклоне - искрогасителе «SPARKSHIELD» вентиляционной компании «Plumvent Group» и циклонах – искрогасителях ЦГ-1 ÷ 20 АО "СПЕЙС-МОТОР". Механизм улавливания твердых горячих капель металла от сварки и резки в этих устройствах не описан, эффективность снижения температуры капель не определялась.

Экспериментальное исследование улавливания раскаленных капель твердого металла центробежным методом выполнено на экспериментальной установке, в основу которой положен прямоточный циклон ЦП -2500 [25].

Прямоточный циклон ЦП-2500 с 2003 года выпускает АО «СовПлим» по ТУ 346-009-05159840-2003. На входе в циклон воздушный поток закручивается специальной осевой розеткой, в результате чего под действием центробежных сил крупные частицы пыли отбрасываются к стенкам корпуса циклона и направляются через боковой патрубков в пылесборник. Жалюзийные решетки цилиндрической формы, расположенные внутри корпуса циклона, осуществляют дополнительную очистку воздуха от пыли и обеспечивают высокую эффективность циклона. Наряду с закручивающим устройством и жалюзийными решетками в схеме пылеочистки участвует инерционная пылевая камера.

Общая эффективность пылеулавливания циклона составляет 90,4%.

Таблица 1. Фракционная эффективность пылеулавливания

Размер частиц, мкм	Эффективность
< 5	0%
5-10	55%
10-20	81,5%
20-50	98,4%
50-100	99,7%

Расчетное время пребывания частиц пыли в циклоне равно 0,15 секунды. [13,19]

Общий вид и схема испытательной экспериментальной установки представлены на рисунках 1 и 2 [26].



Рисунок 1. Общий вид экспериментальной установки

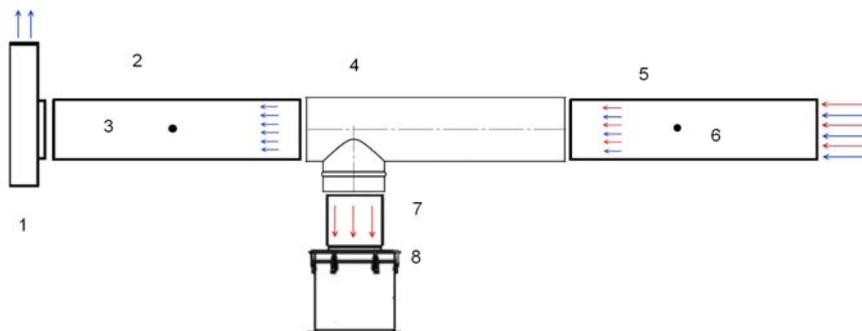


Рисунок 2. Схема экспериментальной установки [19].

(1 – вентилятор с частотой регулировкой числа оборотов TEV-600, 2 и 5,7 – прозрачные воздуховоды, 3 и 6 маркеры горячих частиц, 4 – циклон ЦП-2500, 8 – пылесборник. ← раскаленные капли металла, ← сварочный аэрозоль)

Источником брызг металла явилась полуавтоматическая сварка наплавкой в защитной среде - смеси аргона и углекислого газа, проволокой Св08ГЗС диаметром 0,8 мм. Ток 120 А, напряжение 19,8 В. Скорость подачи проволоки 6,6 м/мин.

При горизонтальной сварке, наиболее крупные и тяжелые капли расплавленного металла приваривается к свариваемому металлу и остаются на свариваемом изделии в зоне порядка 200 мм от сварочного шва.

При вертикальной и потолочной сварке остывающие капли металла летят вниз. [22,24]

Летающие капли кристаллизующегося металла наблюдаются как летящие искры разной светимости. Желто – белые, желтые и красные цвета разных оттенков свидетельствуют о температуре остывающей стали 1200 – 900°C. Затухающая, слабо различимая темно-коричневого цвета искра имеет температуру 550°C, температура самовоспламенения большинства горючих материалов и намного выше +70°C. [11]

В качестве маркеров раскаленных капель металла использованы помещенные в центре сечения прозрачных воздуховодов аллонжи с фильтрующим материалом типа АФА-ВП-20. Материал АФА в своей основе имеет перхлорвиниловое волокно. Перхлорвиниловое волокно не самовозгорается. Температура разложения перхлорвинила равна 130 -140 °С.

Гидравлическое сопротивление системы, измеренное в воздуховодах перед и после циклона, при расходе воздуха 3400 м3/ч составило 1645 Па. Результаты измерений, выполненных дифференциальным манометром DT-8890 с приемником полного и статического давления «Пито» представлены в таблице 2.

Таблица 2. Гидравлическое сопротивление системы

№ п.п	Точка измерения	Pd, Па	Pv, Па	Ps, Па	V, м/с	Q, м3/ч	ΔPv, Па
1	До циклона	220	530	750	19,1	3382	1645
2	После циклона	225	2175	2400	19,3	3420	

В процессе эксперимента проводилась видеосъемка потоков раскаленных капель в прозрачных воздуховодах.

Кадры видеосъемки представлены на рисунках 3-5.



Рисунок 3. Светящиеся трассы раскаленных капель металла по ходу экспериментальной установки

Перед входом в циклон видно сплошное свечение прозрачного воздуховода. Перед пылесборником – единичные трассы раскаленных капель. На выходе из циклона светящихся трасс нет (рис.3-6).



Рисунок 4. Трассы раскаленных капель на входе в циклон. Расстояние до сварочной дуги 2 метра. В центре воздуховода расположен маркер - аллонж пылеприемник [26]



Рисунок 5. Единичные трассы раскаленных твердых капель на выходе из циклона в пылесборник.



Рисунок 6. Отсутствие трасс раскаленных капель на выходе из циклона. В центре воздуховода – маркер – аллонж пылеприемник.

Присутствие и отсутствие в потоке воздуха до и после циклона раскаленных капель металла подтверждается состоянием маркеров.



Рисунок 7. Состояние маркеров перед циклоном и после циклона

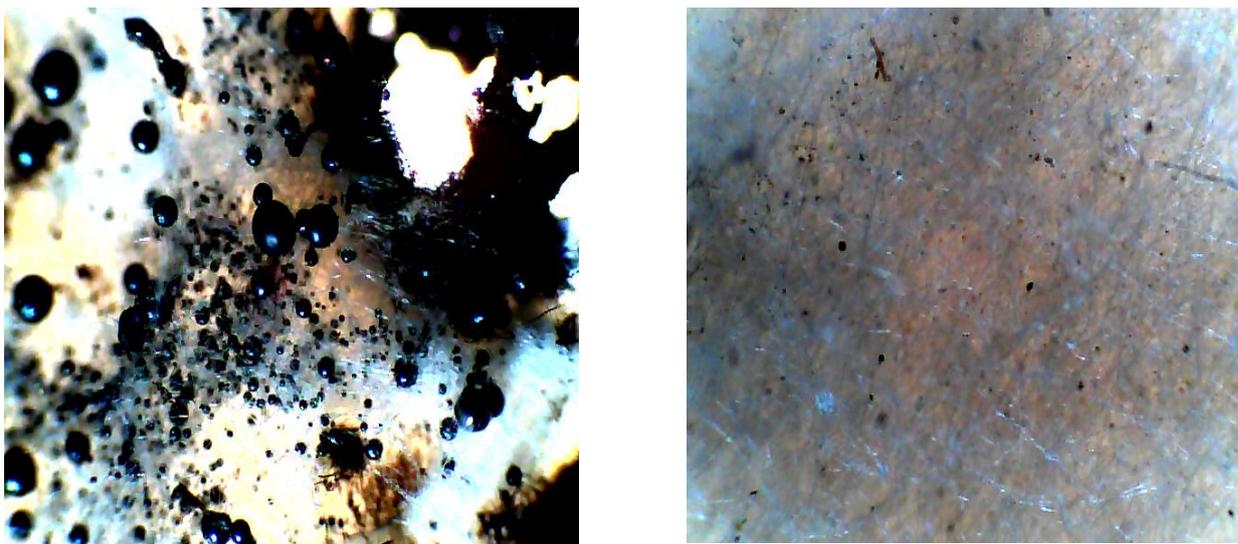


Рисунок 8. Образцы ткани маркеров при увеличении 400 раз.

В результате экспериментов установлено следующее:

1. Остывающие капли металла имеют шаровидную форму.
2. Твердые капли разбрызгиваемого металла с температурой + 400°С вызывают полное проплавление полиэфирного фильтрующего материала. Капли с температурой + 600°С вызывают коксование краев оплавления.
3. Основное количество остывших капель металла (до 85%) с конечной температурой 400 ÷ 600°С долетает на расстояние до одного метра от точки сварки. Максимальный разлет (без отскока) составляет 2 метра.
4. Начальная скорость вылета капель из сварочной горелки равна 8 ÷ 14 м/с.
5. Средняя скорость свободного падения капель массой 7,8 равна 4,4 м/с.
6. Основная масса – 95% капель остывает до температуры ниже свечения (менее 600°С) за время не более 0,25 с.

3. Результаты и обсуждение

Как видно из результатов эксперимента в центробежных циклонах – остывающие твердые капли движутся по сложным несколько более длинным траекториям и соприкасаются со стенками циклонов. Анализ кадров видеосъемки движения раскаленных капель металла дает дополнительную информацию по движению частиц в циклоне ЦП. Действие направляющего аппарата для кольцевых закрученных потоков проявляется уже на входе потока в аппарат. Видно, что перед входом в циклон поток воздуха из прямолинейного движения переходит во вращательное. При выходе раскрученного потока в пылеприемник отдельные раскаленные частицы продолжают вращательное движение, которое продолжается в пылеприемнике, и оставляет на дне пылеприемника следы движения. Изменение направления прямолинейного движения твердых остывающих капель обеспечивает более высокую эффективность улавливания капель, по сравнению с искрогасителями типа «пылевые камеры» и «жалюзийные фильтры».

Перхлорвиниловая ткань, используемая в маркерах, проплавляется при температуре 130 – 140 °С. Задержанные на поверхности ткани первого маркера капли диаметром от 50 мкм и мельче имели тепловую мощность недостаточную для её проплавления. Более крупные капли проходили с проплавлением и обугливанием ткани. На втором маркере видны единичные остывшие капли, размер которых в десятки раз меньше задержанных первым маркером и соизмерим с размером видимых пылевых частиц (от 5 мкм и меньше) (рис.7). Проскок капель проплавливающих ткань отсутствует.



Рисунок 9. Донная поверхность пылеприемника

Размеры капель – их гидравлическая крупность, определяемая из скорости седиментации капель, позволяют классифицировать их как пыль, и достаточны для их захвата местными вытяжными устройствами и транспортировки по длине воздуховодов [27].

4. Выводы

Большая часть остывающих капель металла по дисперсности имеют размер от 200 мкм и меньше, улавливаются современными вытяжными устройствами.

Процесс сепарации горячих капель металла в прямоточном циклоне вызывает падение температуры летящих капель с 800 до 130°С и ниже. Остывание частиц в циклоне - 0,15 с происходит за время меньшее, чем остывание в покое – 0,25 ÷ 0,5с.

Конструктивные особенности циклона ЦП-2500 (завихритель, всасывающая жалюзийная решетка, бункер-пылеуловитель) обеспечивают 100% улавливание пожароопасных твердых горячих капель металла.

Литература

- [1]. НИИ ПБ и ЧС. Установление причины пожара. Применяемые методы (определение тепловой энергии и температуры искр). Минск. 2002.
- [2]. Yanqiu Y., Jianchun F. Research on fusion characteristics of sulfur dust and risk control of the explosion. *Procedia Engineering*. 2014. Vol. 84. Pp. 449-459.
- [3]. Chang B., Blackburn J., Allen C., Hilton P. Studies on the spatter behaviour when welding AA5083 with a Yb-fibre laser. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2016. Vol. 84. Pp. 1769-1776.
- [4]. Koseki H. Study and countermeasure of hazard of dust explosion of various toner cartridges. *Procedia Engineering*. Vol. 84. 2014. Pp. 273 – 279.
- [5]. Taveau J. Application of dust explosion protection systems. *Procedia Engineering*. Vol. 84. 2014. Pp. 297 – 305
- [6]. Солодский С.А., Брунов О.Г. Влияние газодинамического удара на разбрызгивание электродного металла при сварке в активных газах. XIII Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых СТТ: тезисы докладов. Томск: СТТ, 2007. С.363-365.
- [7]. Хейфец И.С., Пинчук В.Ф., Постаушкин В.Ф. Роль электрического взрыва перемычки и силового воздействия дуги в разбрызгивании металла при сварке с короткими замыканиями Автоматическая сварка. 1978. № 10. С 26-28.
- [8]. Потапьевский Г.В., Лаврищев В.Я. Разбрызгивание при сварке в углекислом газе проволокой Sv-08Г2С. Автоматическая сварка. 1972. № 7. С. 39-42.
- [9]. Федько В.Т. Теория, технология и средства снижения набрызгивания и трудоемкости при сварке в углекислом газе. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1998. 432 с.
- [10]. Дмитрик В.В., Глушко А.В. К образованию брызг расплавленного металла при дуговой сварке в среде углеродистого газа Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. 2011. №12. С.43-49.
- [11]. Strelets K., Petrochenko M., Girgidov A. Energy performance of particle settling in cyclone. *Applied Mechanics and Materials*. 2015. Pp. 1363-1371.
- [12]. Mokni I., Dhaouadi H., Mhiri H., Lepalec G. CFD Simulation Of The Flow Field In A Uniflow Cyclone Separator. *Engineering Letters*. 2009. No. 17:3, EL_17_3_04 – 2009
- [13]. Jeongseog Oh, Sangil Choi, Gyoung Tae Jin, Jeongguen Kim, Sangho Lee. Advanced Particle Separation with the Concept of Uniflow Cyclone. *Proceedings of the Twenty-second (2012) International Offshore and Polar Engineering Conference*. 2012. Pp. 16-22
- [14]. Pillei M., Kofler T., Kraxner M. A swirl generator design approach to increase the efficiency of uniflow cyclones. 17th International Symposium on Application of Laser Techniques to Fluid Mechanics. Lisbon. 2014. P.3.
- [15]. Коновалов Ю.Н. Сравнение свойств универсального инверторного источника питания сварочной дуги «Магма-315» и традиционных выпрямителей для механизированной сварки. *Сварка и диагностика*. 2007. № 2. С.23.
- [16]. Сапожков С.Б. Исследование взаимодействия брызг расплавленного металла с поверхностью свариваемого изделия и разработка средств снижения набрызгивания при сварке в CO₂. Югра, 1999. 138 с.
- [17]. Oh J., Choi S., Kim J. Numerical simulation of an internal flow field in a uniflow cyclone separator. *Powder Technology*. 2015. Pp. 135-145.
- [18]. Feng, Y., Li, Y., Shi, L., Wu, M., Mi, J. Effect of preparation

References

- [1]. NII PB i CHS. Ustanovlenie prichiny požhara. Primenyaemye metody (opredelenie teplovoj ehnergii i temperatury iskr) [Determination of the cause of the fire. Applied methods (determination of thermal energy and temperature of sparks)]. Minsk. 2002.
- [2]. Yanqiu Y., Jianchun F. Research on fusion characteristics of sulfur dust and risk control of the explosion. *Procedia Engineering*. 2014. Vol. 84. Pp. 449-459.
- [3]. Chang B., Blackburn J., Allen C., Hilton P. Studies on the spatter behaviour when welding AA5083 with a Yb-fibre laser. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2016. Vol. 84. Pp. 1769-1776.
- [4]. Koseki H. Study and countermeasure of hazard of dust explosion of various toner cartridges. *Procedia Engineering*. Vol. 84. 2014. Pp. 273–279.
- [5]. Taveau J. Application of dust explosion protection systems. *Procedia Engineering*. Vol. 84. 2014. Pp. 297 – 305.
- [6]. Solodskij S.A., Brunov O.G. Vlijanie gazodinamicheskogo udara na razbryzgvanie jelektrodnogo metalla pri svarke v aktivnyh gazah [Influence of gas-dynamic impact on splashing of electrode metal during welding in active gases]. XIII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya studentov, aspirantov i molodyh uchenyh TPU: tezisy dokladov [XIII International scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists of TPU]. Tomsk: TPU, 2007. Pp. 363-365.
- [7]. Hejfec A.L., Pinchuk I.S., Postaushkin V.F. Rol' ehlektricheskogo vzryva peremychki i silovogo vozdejstviya dugi v razbryzgvanii metalla pri svarke s korotkimi zamykaniyami [The role of an electric explosion of the web and the power action of the arc in the spattering of metal when welding with short circuits]. *Avtomaticheskaya svarka*. 1978. No. 10. Pp. 26-28.
- [8]. Potap'evskij G.V., Lavpishchev V.YA. Pazbpyzgvanie pri svapke v uglekislom gaze provolokoj Sv-08G2S. [Disintegration during welding in carbon dioxide gas with a wire Sv-08G2S]. *Avtomaticheskaya svarka*. 1972. No. 8. Pp. 39-42.
- [9]. Fed'ko V.T. Teorija, tehnologija i sredstva snizhenija nabryzgvaniya i trudnoemkosti pri svarke v uglekislom gaze [Theory, technology and means of reducing spraying and labor intensity in welding in carbon dioxide]. Tomsk: Tomsk State University, 1998. 432 p.
- [10]. Dmitrik V.V., Glushko A.V. K obrazovaniju bryzg rasplavlennogo metalla pri dugovoj svarke v srede uglerodistogo gaza [To the formation of sparks of molten metal during arc welding in a carbon dioxide environment]. *Energy saving. Power engineering. Energy audit*. Har'kov.skiy politehnicheskij institute. Har'kov. 2011. No. 12. Pp. 43-49.
- [11]. Strelets K., Petrochenko M., Girgidov A. Energy performance of particle settling in cyclone. *Applied Mechanics and Materials*. 2015. Pp. 1363-1371.
- [12]. Mokni I., Dhaouadi H., Mhiri H., Lepalec G. CFD Simulation Of The Flow Field In A Uniflow Cyclone Separator. *Engineering Letters*. 2009. No. 17:3, EL_17_3_04 – 2009
- [13]. Jeongseog Oh, Sangil Choi, Gyoung Tae Jin, Jeongguen Kim, Sangho Lee. Advanced Particle Separation with the Concept of Uniflow Cyclone. *Proceedings of the Twenty-second (2012) International Offshore and Polar Engineering Conference*. 2012. Pp. 16-22
- [14]. Pillei M., Kofler T., Kraxner M. A swirl generator design approach to increase the efficiency of uniflow cyclones. 17th International Symposium on Application of Laser Techniques to Fluid Mechanics. Lisbon. 2014. P.3.
- [15]. Konovalov Y.N. Sravnenie svojstv universal'nogo invertornogo istochnika pitaniya svarochnoj dugi «Magma-315» i tradicionnyh vypryamitelej dlya mekhanizirovannoj svarki [Comparison of the properties of the universal inverter power supply source of the welding arc «Magma-315» and traditional rectifiers for mechanized welding]. *Magazine of welding and diagnostics*. 2007. No. 2. P. 23.
- [16]. Sapozhkov S.B. Issledovanie vzaimodejstvija bryzg

method of active component on the cycling performance of sorbents for hot coal gas clean-up. Canadian Journal of Chemical Engineering. 2017.

- [19]. Yang A., Karasev A., Jönsson G. Characterization of metal droplets in slag after desulfurization of hot metal. ISIJ International. 2015. No. 3. Pp. 570–577.
- [20]. Ватин Н.И., Стрелец К.И., Китаин М.Б. Определение характеристик сварочных искр для расчета их удаления в циклоне Инженерно-строительный журнал. 2011. №5(23). С. 25-30.
- [21]. Ватин Н.И., Стрелец К.И. Очистка воздуха при помощи аппаратов типа циклон. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. 65 с
- [22]. Иванова В.П., Аникина А.Д., Брюховец Д.Ф. Основные сведения об изготовлении машин. М.: Машиностроение, 1966. 344с.
- [23]. Mertzis, D., Koufodimos, G., Kavvadas, I., Samaras, Z. Applying modern automotive technology on small scale gasification systems for CHP production: A compact hot gas filtration system. Biomass and Bioenergy Volume 101. 2017. Pp. 9-20
- [24]. Yang L., Ji Z., Wu X., Ma W. Application and operating experience of sintered metal fiber hot gas filters for FCC unit. Procedia Engineering. 2015. Vol. 102. Pp. 1073-1082.
- [25]. Зайцев Н.О. Гидравлический расчет прямоточных циклонов. Санкт-Петербург, 2007. 116 с.
- [26]. Китаин М.Б., Стрелец К.И., Петроченко М.В. Улавливание горячих брызг металла центробежным методом. Инженерно-строительный журнал. 2017. № 8(76). С. 20-27.
- [27]. Ватин Н.И., Стрелец К.И. Очистка воздуха как важнейшее направление экотехники воздушной среды. Методика расчета и возможность повышения эффективности пылеулавливания аппаратов типа циклон Инженерные системы. 2005. №3(19). С. 63-64.
- rasplavlennogo metalla s po-verhnost'ju svarivaemogo izdelija i razrabotka sredstv snizhenija nabryzgvaniya pri svarke v CO2 [Investigation of the interaction of splashes of molten metal with the surface of the welded product and the development of means for reducing spraying when welding in CO2]. Ugra. 1999.
- [17]. Oh J., Choi S., Kim J. Numerical simulation of an internal flow field in a uniflow cyclone separator. Powder Technology. 2015. Pp. 135-145.
- [18]. Feng, Y., Li, Y., Shi, L., Wu, M., Mi, J. Effect of preparation method of active component on the cycling performance of sorbents for hot coal gas clean-up. Canadian Journal of Chemical Engineering. 2017.
- [19]. Yang A., Karasev A., Jönsson G. Characterization of metal droplets in slag after desulfurization of hot metal. ISIJ International. 2015. No. 3. Pp. 570–577.
- [20]. Vatin N.I., Strelec K.I., Kitain M.B. Opredelenie harakteristik svarocnyh iskr dlja rascheta ih udaleniya v ciklone [Determination of the characteristics of welding sparks to calculate their removal in a cyclone]. Magazine of Civil Engineering. 2011. No. 23. Pp. 25-30.
- [21]. Vatin N.I., Strelec K.I. Ochistka vozduha kak vazhnejshee napravlenie jekotehniki vozdushnoj sredy. Metodika rascheta i vozmozhnost' povysheniya jeffektivnosti pyloulavlivaniya apparatov tipa ciklon [Air purification as the most important direction of environmental engineering of the air environment. The calculation procedure and the possibility of increasing the efficiency of the dust collection of cyclone type devices]. Inzhenernye sistemy. 2005. No. 3 (19). Pp. 63-64.
- [22]. Ivanova V. P., Anikina A. D., Bryuhovec D. F. Osnovnye svedeniya ob izgotovlenii mashin [Basic information about the manufacture of machines]. Moskva: Mashinostroenie, 1966. 344p.
- [23]. Mertzis, D., Koufodimos, G., Kavvadas, I., Samaras, Z. Applying modern automotive technology on small scale gasification systems for CHP production: A compact hot gas filtration system. Biomass and Bioenergy Volume 101. 2017. Pp. 9-20
- [24]. Yang L., Ji Z., Wu X., Ma W. Application and operating experience of sintered metal fiber hot gas filters for FCC unit. Procedia Engineering. 2015. Vol. 102. Pp. 1073-1082.
- [25]. Zajcev N.O. Gidravlicheskij raschet prjamotochnyh ciklonov [Hydraulic calculation of direct-flow cyclones]. Saint-Petersburg. 2007.
- [26]. Strelec K.I., Kitain M.B., Petrochenko M.V. Hot metal droplets capture with centrifugal method. Magazine of Civil Engineering. 2017. № 8(76). С. 20–27.
- [27]. Vatin N.I., Strelec K.I. Ochistka vozduha pri pomoshhi apparatov tipa ciklon [Air cleaning with cyclone type devices]. SPb.: SPbGPU, 2003. 65 p

Контактная информация

- * +7(812)5529460, kstrelets@mail.ru (Стрелец Ксения Игоревна, к.т.н., заместитель директора Инженерно-строительного института)
- +7(921)9344736, 9344736@gmail.com (Китаин Михаил Борисович, начальник инженерного центра АО «СовПлим»)

Contact information

- * +7(812)5529460, kstrelets@mail.ru (Kseniya Strelets, Ph.D., Vice-Director of Civil Engineering Institute)
- +7(921)9344736, 9344736@gmail.com (Mikhail Kitain, The head of the Engineering Center, АО “SovPlym”)

© Стрелец К.И., Китаин М.Б., 2018