

САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕССА АРГОНОДУГОВОЙ СВАРКИ НЕПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ 1201 И 1460

А. О. ЛУКЬЯНЕНКО¹, Т. М. ЛАБУР¹, А. Г. ПОКЛЯЦКИЙ¹, В. А. КУЛЕШОВ¹, ДАРКО Р. БАИЧ²

¹ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03680, г. Киев-150, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

²Университет Черногории, Факультет машиностроения, Черногория, Подгорица

В работе представлены результаты исследования вредных веществ в воздухе, выделяющихся при аргонодуговой сварке неплавящимся электродом алюминиевых сплавов 1201 (Al–Cu–Mn) и 1460 (Al–Cu–Li). Целью данной работы является проведение санитарно-гигиенической оценки характера выделений аэрозолей и газов из данных сплавов для создания благоприятных санитарно-гигиенических условий труда сварщика. Показано, что интенсивность образования сварочного аэрозоля на одинаковых сварочных режимах для сплава 1460, содержащего литий, больше в 1,5 раза, концентрация озона превышает предельно допустимую концентрацию в 3...4 раза. Библиогр. 13, табл. 4, рис. 5.

Ключевые слова: алюминиево-литиевые сплавы, дуговая сварка неплавящимся электродом, безопасность труда, вредные вещества, сварочные аэрозоли

Развитие технического прогресса способствует процессу совершенствования сварных конструкций в различных отраслях машиностроения. Новейшие достижения науки и техники внедряются в производство разнообразных изделий современной техники. Благодаря этому появляются новые модификации летательных аппаратов с более эффективными тактико-техническими и экономическими параметрами, которые способны длительный период сохранять нужные эксплуатационные функции в заданных режимах и условиях применения. Это достигается при рациональном выборе материалов и технологий их соединения, в частности, высокопрочных алюминиевых сплавов. Поэтому к свойствам сплавов и их сварным соединениям предъявляются повышенные требования. Обычно при выборе марки сплавов для использования в конкретных конструкциях учитывают помимо основных характеристик (удельный вес, прочность, коррозионные свойства и т.д.) соответствие санитарным и медицинским требованиям [1].

В ряду известных высокопрочных алюминиевых сплавов особое место занимают алюминиево-литиевые сплавы (АЛС) Al–Li–Mg (1420, 1421, 1423, 1424) и Al–Li–Cu (1450, 1451, 1460, 1461, 1463, 1464) [1]. Они характеризуются малой плотностью, повышенным модулем упругости и достаточно высокой прочностью, что делает их перспективными для изготовления легких изделий, особенно, в авиакосмической отрасли. Практика их использования в летательных аппаратах позволила уменьшить массу конструкции на 8...15 % благодаря высокой удельной прочности и повышенному модулю упругости.

В настоящее время с позиции санитарно-гигиенических требований всесторонне изучены условия образования сварочных аэрозолей (СА) и газов, выделяющихся при сварке различных марок сталей и сплавов на основе железа [2–4]. Малоисследованной областью являются СА, образующиеся при сварке цветных сплавов, в частности, алюминия. Санитарно-гигиеническая оценка АЛС выполнена только на этапе металлургического производства [5], что же касается сварочного производства, то она практически отсутствует. Потому повышенный интерес вызывает токсичность лития [6] и механизм его соединения в условиях его выделения при различных способах сварки, использующихся в производстве аэрокосмической техники. Известно, что литий относится к легкоплавким материалам повышенной токсичности [2].

Целью работы является проведение санитарно-гигиенической оценки характера выделений аэрозолей и газов из сплавов 1201 (Al–Cu–Mn) и 1460 (Al–Cu–Li) в процессе аргонодуговой сварки неплавящимся вольфрамовым электродом.

Исследования проводились на листовых полуфабрикатах высокопрочных сложнoleгированных алюминиевых сплавов толщиной 3,0 мм. Автоматизированная аргонодуговая сварка неплавящимся электродом осуществлялась с помощью сварочной головки АСТВ-2М от источника питания TPS-450 австрийской фирмы Fronius. Данные исследования выполнялись на различных режимах тока. Для обоих сплавов значение сварочного тока составляло: $I_{св} = 140, 200$ и 260 А. Состояние воздушной среды сварочного участка оценивали в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.005-88.

Таблица 1. Химический состав алюминиевых сплавов в соответствии с ГОСТ 4784-97, мас. %

Марка сплава	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Zr	Li	Sc	Другие
1201	0,20	0,30	5,8...6,8	0,2...0,4	0,2	-	0,1	0,02...0,10	0,10...0,25	-	-	(0,05...0,15)V
1460	0,10	0,15	2,6...3,3	0,1	0,1	0,05	0,25	0,01...0,06	0,06...0,15	2,0...2,5	0,05...0,14	(0,008...0,1)Be

Химический состав свариваемого металла приведен в табл. 1.

Отбор проб СА осуществляли путем забора воздуха методом полного его улавливания. Для обеспечения достоверности полученных результатов исследований отбирали не менее шести проб при каждом сварочном режиме. Концентрацию СА в воздухе рабочей зоны оценивали гравиметрическим методом [7], а содержание вредных компонентов в СА соединений алюминия, марганца, меди, лития, определяли по методике [8]. Концентрацию озона устанавливали с помощью колориметрического метода путем отбора соответствующих проб пробоотборником «Тайфун» и поглощающим устройством с калий йодистым раствором. Наличие оксида углерода и диоксида азота определяли с помощью приборов Аквилон 1-1 и Аквилон 1-2.

Исследование сварочных аэрозолей, выделяющихся в воздух рабочей зоны при аргонодуговой сварке неплавящимся электродом алюминиево-литиевых сплавов.

Результаты исследований санитарно-гигиенической характеристики при механизированной аргонодуговой сварке неплавящимся вольфрамовым электродом сплавов 1460 и 1201 показали, что в воздухе рабочей зоны в процессе выполнения сварки выделяются следующие основные вредные вещества СА, в состав которых входит алюминий, марганец, медь, литий и другие элементы.

Для сплава 1460, содержащего в своем составе литий, при сварочном токе $I_{св} = 140$ А интенсивность образования аэрозолей (V_a) составляет 0,03586. При сварке током $I_{св} = 140$ А сплава 1201, который не содержит в своем составе литий, V_a составляет 0,0162. Анализ результатов показал, что при сварке на одинаковых значениях тока исследуемых сплавов марок 1460 и 1201 (рис. 1) V_a выше в 3,5 раза у сплава 1460.

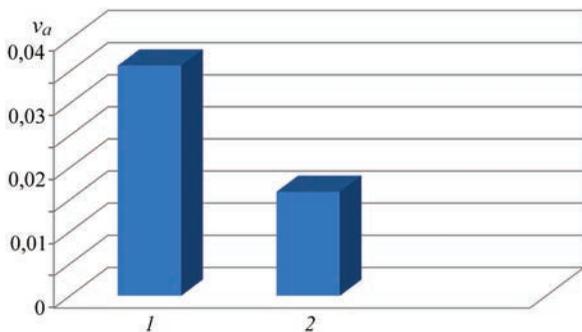


Рис. 1. Интенсивность образования СА при аргонодуговой сварке неплавящимся электродом ($I_{св} = 140$ А): 1 — сплав 1460 с Li; 2 — сплав 1201 без Li

При исследовании воздуха рабочей зоны (рис. 2) было установлено, что массовая доля основных вредных компонентов, выделяющихся в СА, при сварке на режимах $I_{св} = 140$ А и $I_{св} = 200$ А сплава 1460, возрастает при увеличении силы тока.

Сравнение результатов исследования сплавов 1460 и 1201 при аргонодуговой сварке неплавящимся электродом при одинаковой силе тока $I_{св} = 140$ А показывает, что в условиях сварки массовая доля вредных компонентов в СА существенно отличается. Массовая доля вещества в составе СА алюминия, марганца и меди у сплава 1201 значительно выше, чем у сплава 1460 (рис. 3).

Поскольку тугоплавкий вольфрам, использующийся при сварке неплавящимся электродом, не участвует в образовании СА, а объем расплавленной присадочной проволоки весьма незначителен, количество металла при данном процессе также испаряется незначительно.

Исследование газов, выделяющихся в воздух рабочей зоны при аргонодуговой сварке неплавящимся электродом алюминиево-литиевых сплавов.

При выполнении сварки АЛС наряду с выделением СА в воздух рабочей зоны образуются вредные сварочные газы, которые относятся к группе химически опасных и вредных производственных факторов [9]. Причиной их образования в услови-

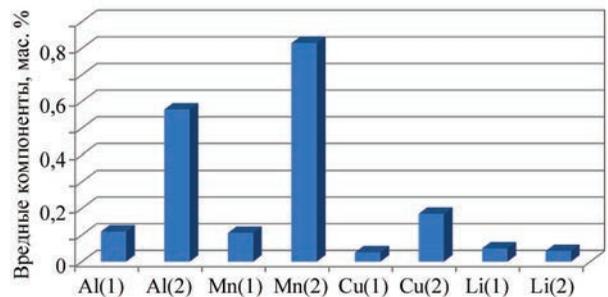


Рис. 2. Массовая доля основных вредных компонентов сплава 1460 в СА: 1 — $I_{св} = 140$, 2 — 200 А

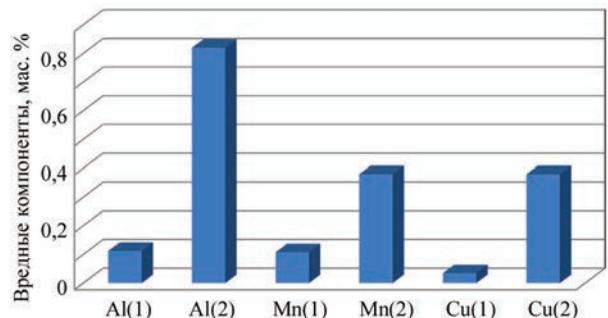


Рис. 3. Массовая доля вредных компонентов в СА при $I_{св} = 140$ А: 1 — сплав 1460; 2 — сплав 1201

Таблица 2. Предельно допустимые концентрации (ПДК) основных газов в воздухе рабочей зоны

Вещество	ПДК, мг/м ³	Класс опасности
Диоксид азота	2,0	3
Озон	0,1	1
Оксид углерода	20,0	4

ях электродуговой сварки является наличие высокотемпературной сварочной дуги, состоящей из электрического разряда и ионизированной смеси газов, паров металлов, а также их влияние на свариваемые материалы, которые окружают аргон и воздух. Часть газов образуется вследствие протекания процесса термической диссоциации компонентов свариваемых материалов, испаряющихся в сварочной зоне, другие – из молекул окружающей газовой среды как результат воздействия ультрафиолетового излучения (УФИ) сварочной дуги [10]. Состав образующейся смеси вредных газов зависит от химического состава сварочных материалов, защитных газов и воздуха. Наиболее распространены в составе смеси сварочных газов оксид углерода, оксиды азота и озон. Их характеристики приведены в ГОСТ 12.1.005-88 [11]. Токсичные газы, как правило, поражают дыхательные пути, легкие и слизистые ткани человека. По степени воздействия на организм чрезвычайно опасным считается озон (1-й класс опасности). Диоксид азота относится к 3-му классу умеренно опасных веществ, оксид углерода — к 4-му классу малоопасных веществ (табл. 2).

Химическая кинетика исследуемых веществ указывает на решающую роль УФИ в процессе образования таких токсичных газов, как озон и оксиды азота. Другим фактором, определяющим величину объема газов, образующихся при сварке, являются габариты сварочной ванны под высокотемпературной сварочной зоной, поскольку именно оксид углерода образуется в объеме сварочной зоны, а оксид азота — на границе ее контакта с окружающим воздухом. Интенсивность УФИ определяется значениями температуры и сварочного тока. Поэтому следует ожидать, что генерация озона и диоксида азота будет значительно зависеть от уровня сварочного режима [12]. Таким образом, наиболее заметное влияние силы сварочного тока будет определять процесс образования соответствующего озона и диоксида азота. Можно ожидать, что изменение концентрации угарного

Таблица 3. Концентрация СО и NO₂ на рабочем месте при аргонодуговой сварке АЛС 1460 при различных режимах сварки

Сила сварочного тока I, А	Массовая концентрация, мг/м ³	
	СО	NO ₂
140	0,4 ± 0,7	1,1 ± 0,5
200	0,5 ± 0,8	1,3 ± 0,5
260	0,5 ± 0,8	2,5 ± 0,6

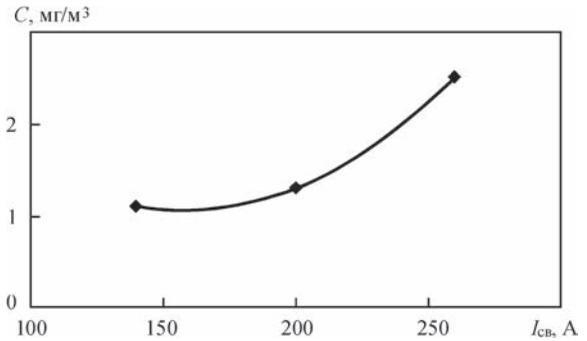


Рис. 4. Зависимость массовой концентрации диоксида азота на рабочем месте при аргонодуговой сварке АЛС 1460

газа будет не столь значительным, как и величина его объема, вследствие размера сварочной зоны.

Результаты исследований уровня концентрации СО и NO₂ на рабочем месте сварщика в условиях аргонодуговой сварки АЛС 1460 в зависимости от режима сварки приведены в табл. 3 с учетом погрешности. Как показал их анализ, значение сварочного тока значительно влияет на процесс образования диоксида азота, поднимая его концентрацию до уровня, превышающего ПДК. Концентрация угарного газа практически не меняется. Согласно данным на рис. 4, зависимость концентрации диоксида азота от значения сварочного тока с высокой точностью аппроксимируется параболой, а следовательно, объем токсичного газа, который образуется, значительно повышается при увеличении силы тока, сопровождающего сварочный процесс. При интенсивных режимах сварки, с токами более 200 А, концентрация NO₂ в рабочей зоне превышает ПДК.

Анализ санитарно-гигиенических характеристик, полученных в условиях механизированной аргонодуговой сварки неплавящимся вольфрамовым электродом, показал, что основной причиной возникновения озона при выполнении сварочных работ является фотодиссоциация молекул кислорода воздуха, протекающая под воздействием УФИ сварочной дуги (табл. 4).

Именно этот процесс вызывает освобождение атомарного кислорода с последующим присоединением его к молекуле кислорода. К росту интенсивности образования озона приводит также влияние УФИ дуги на молекулы O₂, которое зависит от

Таблица 4. Содержание озона в воздухе рабочей зоны при аргонодуговой сварке неплавящимся электродом сплавов 1460 и 1201

Номер п/п	Режим сварки		Озон, мг/м ³
	I _{св} , А	U _д , В	
Сплав 1460			
1	140	12...15	0,13
2	260	12...15	0,49
Сплав 1201			
3	140	12...15	0,04
4	260	12...15	0,08

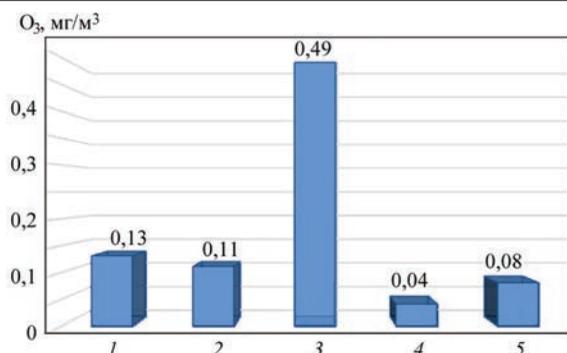


Рис. 5. Зависимость концентрации озона от режима аргонодуговой сварки неплавящимся электродом сплавов 1460 (1 — $I_{св} = 140$; 2 — 200; 3 — 260 А) и 1201 (4 — $I_{св} = 140$; 5 — 260 А)

длины волны излучения, создаваемого сварочной дугой [13].

Результаты исследований количества озона в воздухе рабочей зоны показали, что его концентрация зависит от значения электрического тока при сварке. Чем он больше, тем больше концентрация газа (рис. 5). Для сплава 1460 при $I_{св} = 140$ А концентрация составляет лишь 0,13 мг/м³, а при $I_{св} = 260$ А — 49 мг/м³, и на всех исследуемых режимах сварочного тока превышает ПДК.

Уровень концентрации озона при сварке сплава 1201 значительно ниже, он находится в пределах ПДК, но также возрастает с повышением электрического тока при сварке.

Таким образом, в ходе исследования санитарно-гигиенических условий выполнения аргонодуговой сварки неплавящимся электродом АЛС 1460 было установлено, что процесс сопровождается образованием на рабочем месте токсичных газов: диоксида азота и угарного газа. Массовая концентрация угарного газа приблизительно 1 мг/м³ в диапазоне сварочных токов 140...260 А значительно ниже его ПДК, а массовая концентрация диоксида азота сильно зависит от значения тока и при больших значениях превышает его ПДК. Усиление сварочного тока приводит к росту концентрации озона для сплавов 1460 и 1201. При этом для сплава 1460 концентрация озона значительно (в 3-4 раза) превышает ПДК. Установлено, что УФ-И является основным фактором генерации токсичных газов в рабочей зоне при сварке неплавящимся электродом исследуемых алюминиевых сплавов.

Обобщение полученных результатов санитарно-гигиенической оценки процессов, протекающих в рабочей зоне при аргонодуговой сварке неплавящимся электродом алюминиевых сплавов марок 1201 и 1460, показало, что воздух рабочей зоны содержит СА со сложным химическим составом элементов, а также токсичные газы. В состав воздушной смеси входят следующие аэрозоли и газы: алюминий, литий, марганец, медь, озон, оксид углерода, диоксид азота и др. соеди-

нения. Другими словами, условия труда сварщика остаются неудовлетворительными. Для обеспечения более благоприятных условий труда необходимо дополнительно использовать ряд известных профилактических мер по защите органов дыхания сварщика от вредного воздействия элементов СА и токсичных газов.

Для создания благоприятных санитарно-гигиенических условий труда сварщика во время выполнения работы и обеспечения существенного ресурса сварочной конструкции из алюминиево-литиевых сплавов, необходимо дополнительно исследовать токсичность отдельных компонентов СА и разработать систему технологических рекомендаций, которые снизят риск образования токсических аэрозолей.

Список литературы

- Ищенко А. Я., Лабура Т. М. (2013) *Сварка современных конструкций из алюминиевых сплавов*. Киев, Наукова думка.
- Левченко О. Г. (2015) *Сварочные аэрозоли и газы: процессы образования, методы нейтрализации и средства защиты*. Киев, Наукова думка.
- Левченко О. Г., Лукьяненко А. О., Полукаров Ю. О. (2011) Концентрации оксида углерода и диоксида азота в воздухе рабочей зоны при дуговой сварке покрытыми электродами. *Автоматическая сварка*, 1, 37–40.
- Левченко О. Г., Максимов С. Ю., Лукьяненко А. О., Лендел И. В. (2015) Сравнительная гигиеническая оценка процесса дуговой сварки с постоянной и импульсной подачей электродной проволоки. *Там же*, 12, 41–46.
- Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации (1999) ГОСТ 4784-97 *Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. Марки*. Минск.
- Некрасов Б. В. (1970) *Основы общей химии*. Т. 3. Москва, Химия.
- Минздрав СССР (1978) МУ 1924-78 *Гигиеническая оценка сварочных материалов и способов сварки, наплавки и резки металлов: Методические указания*.
- Минздрав СССР (1988) МУ 4945-88 *Методические указания по определению вредных веществ в сварочном аэрозоле (твердая фаза и газы)*. Москва.
- ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ. *Опасные и вредные производственные факторы. Классификация*. Москва, Изд-во стандартов.
- Левченко О. Г. (2010) *Охорона праці у зварювальному виробництві. Навчальний посібник*. Київ, Основа.
- Госстандарт СССР (1988) ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. *Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны*. Москва.
- Ерохин А. А. (1973) *Основы сварки плавлением: Физико-химические закономерности*. Москва, Машиностроение.
- Pattee H. E., Myers L. B., Evans R. M., Monroe R. E. (1973). Effects of Arc Radiation and Heat on Welders. *Weld. J.*, 52, 297–308.

References

- Ishchenko, A.Ya., Labura, T.M. (2013) *Welding of modern structures from aluminium alloys*. Kiev, Naukova Dumka [in Russian].
- Levchenko, O.G. (2015) *Welding aerosols and gases: Processes of formation, methods of neutralization and protection facilities*. Kiev, Naukova Dumka [in Russian].
- Levchenko, O.G., Lukianenko, A.O., Polukarov, Yu.O. (2011) Concentration of carbon oxide and nitrogen dioxide

- in air of a working zone in covered-electrode welding. *The Paton Welding J.*, **1**, 32-35.
- Levchenko, O.G., Maksimov, S.Yu., Lukianenko, A.O., Lendel, I.V. (2015) Comparative hygienic evaluation of arc welding process at constant and pulsed electrode wire feed. *Ibid.*, **12**, 39-44.
 - (1999) GOST 4784-97: Aluminium and aluminium wrought alloys. Grades. In: *Interstate council on standardization, metrology and certification*. Minsk [in Russian].
 - Nekrasov, B.V. (1970) *Fundamentals of general chemistry*. Vol. 3. Moscow, Khimiya [in Russian].
 - Minzdrav SSSR (1978) MU 1924-78: *Hygienic evaluation of welding materials and methods of welding, surfacing and cutting of metals*. Procedural guidelines [in Russian].
 - Minzdrav SSSR (1988) MU 4945-88: *Procedural guidelines on determination of harmful substances in welding aerosol (solid phase and gases)* [in Russian].
 - GOST 12.0.003-74. SSBT. *Dangerous and harmful production factors. Classification*. Moscow, Izd-vo Standartov [in Russian].
 - Levchenko, O.G. (2010) *Labour protection in welding production*. In: Manual. Kyiv, Osnova [in Ukrainian].
 - (1988) GOST 12.1.005-88. SSBT. *General sanitary-hygienic requirements to air of working zone*. Moscow, Gosstandart SSSR [in Russian].
 - Erokhin, A.A. (1973) *Fundamentals of fusion welding: Physical-chemical principles*. Moscow, Mashinostroenie [in Russian].
 - Pattee, H.E., Mayers, L.B., Evans, R.M., Monroe, R.E. (1973) Effects of arc radiation and heat on welders. *Weld. J.*, **52**, 297-308.

А. О. Лук'яненко¹, Т. М. Лабур¹, А. Г. Покляцький¹,
В. А. Кулешов¹, Дарко Р. Байіч²

¹ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України.

03680, м. Київ-150, вул. Казимира Малевича, 11.

E-mail: office@paton.kiev.ua

²Університет Чорногорії,

Факультет машинобудування, Чорногорія, Подгориця

САНИТАРНО-ГІГІЄНИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА
ПРОЦЕСУ АРГОНОДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ
НЕПЛАВКИМ ЕЛЕКТРОДОМ
АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ 1201 та 1460

В роботі представлені результати дослідження шкідливих речовин в повітрі, що виділяються при аргонодуговому зварюванні неплавким електродом алюмінієвих сплавів 1201 (Al-Cu-Mn) і 1460 (Al-Cu-Li). Метою даної роботи є проведення санітарно-гігієнічної оцінки характеру виділень аерозолів та газів з даних сплавів для створення сприятливих санітарно-гігієнічних умов праці зварника. Показано, що інтенсивність утворення зварювального аерозолу на однакових зварювальних режимах для сплаву 1460, що містить літій, більше в 1,5 рази, концентрація озону перевищує гранично допустиму концентрацію в 3-4 рази. Бібліогр. 13, табл. 4, рис. 5.

Ключові слова: алюмінієво-літійові сплави, дугове зварювання неплавким електродом, безпека праці, шкідливі речовини, зварювальні аерозоли

A.O. Lukianenko¹, T.M. Labur¹, A.G. Poklyatskii¹,
V.A. Kuleshov¹, Darko R. Bajich²

¹E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine.
11 Kazimir Mavelich Str., 03150, Kiev.

E-mail: office@paton.kiev.ua

²University of Montenegro,

Faculty of Mechanical Engineering, Podgorica

SANITARY-HYGIENIC CHARACTERISTIC
OF THE PROCESS OF NONCONSUMABLE ELECTRODE
ARGON-ARC WELDING OF 1201
AND 1460 ALUMINIUM ALLOYS

The work presents the results of studying harmful substances in the air, released during nonconsumable electrode argon-arc welding of 1201 (Al-Cu-Mn) and 1460 (Al-Cu-Li) aluminium alloys. The objective of this work is performance of sanitary-hygienic assessment of the nature of aerosol and gas evolution from these alloys, in order to ensure favourable sanitary-hygienic working conditions for welders. It is shown that for 1460 alloy with lithium the intensity of welding aerosol formation is 1.5 times higher, and ozone concentration exceeds the maximum permissible concentration 3-4 times in the same welding modes. 13 Ref., 4 Tabl., 5 Fig.

Keywords: aluminium-lithium alloys, nonconsumable electrode arc welding, labour safety, harmful substances, welding aerosols

Поступила в редакцію 06.09.2017

НОВАЯ КНИГА

Скальський В. Р., Божидарнік В. В., Долінська І. Я. Основи механіки руйнування для зварювальників: навч. посіб. – Луцьк, 2014. – 356 с.

У навчальному посібнику викладено основи міцності та лінійної механіки руйнування. Розглянуто деякі теоретико-методологічні аспекти оцінки характеристик міцності і пластичності, а також тріщиностійкості конструкційних матеріалів і їх зварних з'єднань. В доступній формі подано поняття про руйнування елементів конструкцій за статичного, циклічного, динамічного навантажень і за повзучості. Наведено новітні методи визначення важливих стадій розвитку тріщин методами неруйнівного контролю.

Для студентів вищих навчальних закладів, наукових працівників та інженерів-дослідників, аспірантів і викладачів.

