

ЭЛЕКТРОШЛАКОВАЯ НАПЛАВКА ТОРЦОВ ЗАГОТОВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСХОДУЕМОГО И НЕРАСХОДУЕМОГО ЭЛЕКТРОДОВ

Ю. М. КУСКОВ, В. Г. СОЛОВЬЕВ, П. П. ОСЕЧКОВ, В. В. ОСИН*

ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Получение при торцевой электрошлаковой наплавке расходуемым электродом большого сечения минимального и равномерного проплавления основного металла представляет собой сложную задачу. Наиболее перспективно использовать для этих целей нерасходуемый электрод — токоподводящий кристаллизатор. Исследовали влияние различных электрических схем подключения электродов разного диаметра от одного или двух источников питания переменного тока на проплавление основного металла. Установлено, что с точки зрения получения оптимальной технологии наплавки (достижение не только качественных показателей, но и повышенной производительности процесса) перспективно использовать схему наплавки с одним источником питания и одинаковыми потенциалами на поддоне и токоведущей секции токоподводящего кристаллизатора. Схема электрошлаковой наплавки с двумя источниками позволяет получать аналогичные результаты, но более сложная по исполнению (наличие двух источников) и, соответственно, экономически менее целесообразна. Полученные результаты могут составить банк данных для построения системы автоматического регулирования проплавления основного металла при торцевой электрошлаковой наплавке. Библиогр. 11, табл. 1, рис. 3.

Ключевые слова: торцевая электрошлаковая наплавка, расходуемый электрод большого сечения, токоподводящий кристаллизатор, источники питания переменного тока, проплавление основного металла

Предложенная сотрудниками Донецкого национального технического университета технология торцевой электрошлаковой наплавки, названная ими как объемная ЭШН, достаточно широко применяется при восстановлении различных изделий, главным образом, зубьев ковшей экскаваторов. При этом используются различные техники наплавки, а электроды могут быть как составные, так и обычные [1, 2]. В результате величина переходной зоны может не превышать 300 мкм [3, 4]. Зачастую получение небольших значений величин переходной зоны требует жестких условий ведения электрошлакового процесса. В частности, в случае, например, применения при наплавке электрошлакового обогрева при его недостаточном по времени воздействии резко возрастают глубина металлической ванны и перемешивание основного и наплавленного металлов [4]. Таким образом, качество одноэлектродной ЭШН в обычном водоохлаждаемом кристаллизаторе зависит от множества факторов, влияющих на конечный результат наплавки.

В работе [5] было показано, что требуемые характеристики биметалла можно получить при использовании нерасходуемого электрода — токоподводящего кристаллизатора (ТПК) и одного источника питания, но обеспечить стабильность

его качества от наплавки к наплавке также достаточно сложно.

Применительно к электрошлаковому переплаву (ЭШП) в ТПК для получения относительно плоской металлической ванны авторы работ [6, 7] предлагают использовать так называемую двухконтурную (два источника питания) схему ведения электрошлакового процесса. И хотя в этих работах достаточно подробно рассмотрено влияние различных параметров процесса на достижение поставленной цели, все же эти данные относятся к технологии получения слитков ЭШП. При этом остается не ясным, какое же положение торца оплавленного электрода в шлаковой ванне следует считать оптимальным. По нашему мнению, решение этой задачи является наиболее важным с точки зрения автоматизации процесса регулирования проплавления основного металла при ЭШН. Практическое же подтверждение возможностей применения двухконтурной схемы при получении сталемедных заготовок анодов дуговых печей постоянного тока [8] не совсем показательным, так как величина глубины металлической ванны при плавке металла высокой теплопроводности (медь) относительно небольшая [9].

Обеспечить повторяемость показателей качества биметаллических заготовок можно за счет оптимизации как электротехнических параметров (вид применяемого тока, схемы подключения переплавляемого электрода разного диаметра, ко-

* В экспериментах по наплавке принимал участие инж. А. И. Евдокимов.

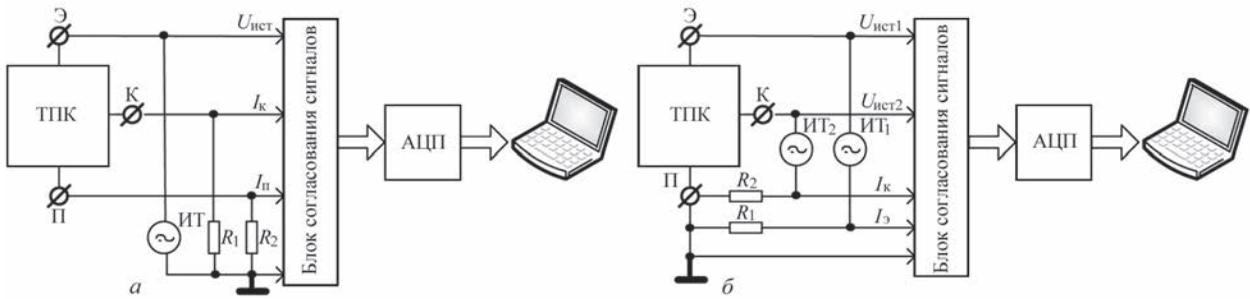


Рис. 1. Структурная схема электрических соединений для проведения экспериментов для одноконтурной (а) и двухконтурной (б) ЭШН (Э, К и П — клеммы подсоединения электрода, токоведущей секции кристаллизатора и поддона с заготовкой, соответственно; ИТ — источник переменного тока; R_1, R_2 — измерительные токовые шунты; $U_{ист}, I_к, I_п, I_3$ — сигналы, пропорциональные напряжению источника тока, току кристаллизатора, току поддона и току электрода, соответственно; АЦП — аналого-цифровой преобразователь)

личества источников питания), так и геометрических (расположения наплавляемой поверхности относительно токоведущей секции ТПК, расположение торца плавящегося электрода относительно наплавляемой поверхности).

Данная работа является продолжением ранее начатых исследований по торцевой ЭШН электродом большого сечения в ТПК [5]. В ней рассматриваются и сравниваются различные технические решения с точки зрения экономичности процесса наплавки, простоты его осуществления и стабильности результатов качества наплавки. За изменяемые показатели приняты различные электрические схемы подключения электродов разного диаметра к одному или двум источникам питания переменного тока. Переменный ток для наплавки выбран как наиболее распространенный в электрошлаковых технологиях [10, 11]. Также предполагается полученные в результате выполнения опытных наплавки данные использовать при создании системы автоматического регулирования проплавления основного металла.

Эксперименты по наплавке, как и в работе [5], выполнялись на флюсе АНФ-29 в ТПК диаметром 180 мм электродами из стали 40 диаметром 40...130 мм. Заготовки из стали Ст.3 толщиной

20 мм закреплялись на водоохлаждаемом поддоне. Источники питания: ТШП-10 и ТШС-3000-1.

На рис. 1 представлена структурная схема электрических соединений при проведении экспериментов для одноконтурной (а) и двухконтурной (б) ЭШН. Измерение и запись токов и напряжения проводились с помощью универсального модуля АЦП Е14-440 (шина USB2), ноутбука LENOVO модель IdealPad Y560 с 64-разрядной операционной системой и программного обеспечения (ПО) «PowerGraph». Сигналы в виде напряжения, пропорциональные токам в цепях источников, снимались с помощью измерительных токовых шунтов R_1 и R_2 . Напряжения источников тока и сигналы токов в цепях источников вводились через блок согласования сигналов, выполняющего роль защиты от перегрузок и фильтра от высокочастотных помех, в АЦП с частотой дискретизации 1,0 кГц и вводились для обработки в компьютер. С помощью ПО «PowerGraph» рассчитывались эффективные значения вводимых сигналов переменного тока и напряжения, а затем сохранялись в памяти компьютера. На рис. 2 представлен фрагмент записи параметров процесса наплавки (эксперимент 22М).

В таблице приведены результаты экспериментов по исследованию влияния электрических параметров процесса ЭШН в ТПК (при использовании электродов разного диаметра и схем их подключения) на проплавление основного металла. По результатам экспериментов анализировались макрошлифы полученного биметалла, проводились расчеты средней глубины проплавления заготовки и средней неравномерности ее проплавления. В качестве примера на рис. 3 представлен

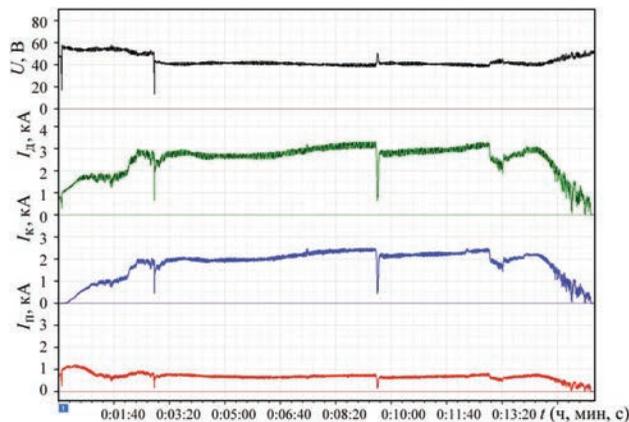


Рис. 2. Фрагмент записи параметров процесса наплавки (эксперимент 22М)



Рис. 3. Макрошлиф биметаллического образца (эксперимент 25М). Пунктирной линией обозначена зона перемешивания металлов

Показатели режимов ЭШН и оценка качества биметаллических образцов, полученных в ТПК

Номер эксперимента	Диаметр электрода, мм	Схема подключения	Ток, кА		Напряжение, В		$N_{\text{общ}}, \text{кВт}\cdot\text{А}$	$N_{\text{ТПК}}/N_{\text{эл}}$	$v_3, \text{мм/мин}$	$G, \text{кг/ч}$	$h, \text{мм}$	$Q, \text{кВт}\cdot\text{ч/кг}$	Качество наплавки		
			ТПК	Электрод	ТПК	Электрод							$H_{\text{ср}}$	$\Delta_{\text{ср}}$	КНП
21М	130	ОС	2,5	3	0	44	132	45/55	18	135	85	1	8	3	Хор.
22М	90	->-	2,1	2,8	0	41	115	43/57	18	50	85	2,3	7	3	Отл.
23М	40	->-	1,5	2,4	0	50	120	38/62	110	34	85	3,5	3	1	->-
25М	90	ДС	3,2	2,4	37	68	293	43/57	49	42	85	6,9	2	1	Хор.
26М	90	->-	1,2	2	42	11	72	31/69	51	10	85	7,2	4	2	->-
28М	40	->-	2,6	1,6	33	40	150	43/57	76	28	85	5,4	2	1	Отл.
29М	40	->-	2,3	1,2	32	42	124	41/59	89	24	61	5,2	15	8	Хор.

Примечание. ОС, ДС — одноконтурная и двухконтурная схема подключения ТПК, соответственно; $N_{\text{общ}}$ — общая мощность, потребляемая ТПК; $N_{\text{ТПК}}/N_{\text{эл}}$ — соотношение мощностей на кристаллизаторе и электроде; v_3 — скорость движения электрода; G — производительность наплавки; h — расстояние от наплавляемой поверхности до верха формирующей секции; Q — удельный расход электроэнергии; $H_{\text{ср}}$ — средняя глубина проплавления, мм; $\Delta_{\text{ср}}$ — средняя неравномерность проплавления, мм; КНП — качество формирования наплавляемой поверхности (экспертная оценка).

макрошлиф биметаллического образца (эксперимент 25М). Пунктирной линией обозначена зона перемешивания металлов.

Средняя глубина проплавления $H_{\text{ср}}$ определялась как $H_{\text{ср}} = S_{\text{в}}/D_3$, где $S_{\text{в}}$ — площадь поверхности макрошлифа между верхним уровнем изделия и линией проплавления изделия; D_3 — диаметр заготовки. Средняя неравномерность проплавления заготовки $\Delta_{\text{пр}}$ определялась как $\Delta_{\text{пр}} = S_{\Delta}/D_3$, где S_{Δ} — площадь поверхности макрошлифа, ограниченной линией $H_{\text{ср}}$ и линией проплавления изделия. Качество формирования наплавляемой поверхности (КНП) оценивалось тремя экспертами.

Полученные данные подтверждают то, что ЭШН с использованием одноконтурной схемы питания с одинаковыми потенциалами на поддоне и токоведущей секции ТПК (эксперименты 21М, 22М и 23М) обеспечивают более высокую производительность, чем двухконтурная схема ЭШН с общей точкой подключения источников питания на поддоне (эксперименты 25М, 26М, 28М и 29М). Это связано, очевидно, с тем, что при наплавке доля тока, идущего через электрод, в первом случае гораздо выше, чем во втором. В связи с этим, вызывает интерес исследование ЭШН по двухконтурной схеме с общей точкой подключения источников питания на электроде, имеющей, предположительно, более высокую производительность, чем схема с общей точкой подключения на поддоне. Следует отметить, что двухконтурная схема ЭШН с общей точкой подключения обоих источников питания на поддоне является традиционной схемой использования двух источников питания при ЭШП в ТПК [6–8].

Для всех экспериментов, включая и ЭШН по двухконтурным схемам, обеспечивалось практически одинаковое соотношение мощностей $N_{\text{ТПК}}/N_3$ (31...45)/(55...69). В данных экспериментах не использовалась ЭШН по двухконтурной схеме с соотношением мощностей в пользу кристалли-

затора, также как в [6–8]. Так как в этом случае, по-нашему мнению, уменьшается доля мощности на электроде в процессе наплавки, и ЭШН по двухконтурной схеме приведет к еще большему уменьшению производительности наплавки из-за снижения скорости плавления электрода.

Эксперименты показали, что ЭШН по одноконтурной схеме с использованием электрода диаметром 40 мм (эксперимент 23М) может конкурировать по таким параметрам, как $H_{\text{ср}}$ и $\Delta_{\text{пр}}$ с ЭШН по двухконтурной схеме (эксперимент 28М). Уменьшение расстояния от наплавляемой поверхности до верха формирующей секции с 85 до 61 мм (эксперименты 28М и 29М) привело к значительному увеличению средней глубины проплавления (с 2 до 15 мм) и средней неравномерности проплавления (с 1 до 8 мм). Вероятно, это связано с увеличением степени воздействия горячего расплавленного металла на заготовку. Изменение диаметра электрода от 130 до 40 мм привело к уменьшению как $H_{\text{ср}}$, так и $\Delta_{\text{пр}}$.

Выводы

1. Установлена возможность выполнения торцевых ЭШН при различных электрических схемах подключения электродов разного диаметра от одного или двух источников питания переменного тока и исследовано влияние электрических и технологических параметров на проплавление основного металла.

2. Показано, что с точки зрения получения оптимальной технологии наплавки (достижение не только качественных показателей, но и повышенной производительности процесса) можно считать схему наплавки с одним источником питания и одинаковыми потенциалами на поддоне и токоведущей секции ТПК (нерасходуемый электрод) перспективной.

3. Схема ЭШН с двумя источниками позволяет получать аналогичные, как и у ЭШН с одним источником, результаты, но более сложная по ис-

полнению (наличие двух источников), характеризуется меньшей производительностью и, соответственно, экономически менее целесообразна.

4. Представляется перспективным исследование ЭШН по двухконтурной схеме питания с общей точкой подключения обоих источников на электроде, имеющей, предположительно, более высокую производительность, чем схема с общей точкой подключения на поддоне.

5. Полученные результаты могут составить банк данных для построения системы автоматического регулирования проплавления основного металла при торцевой ЭШН.

Список литературы

1. Шварцер А. Я., Дорохов В. В., Пономаренко В. П. (1982) Развитие способов электрошлаковой наплавки зубьев ковшей экскаваторов. *Современные способы наплавки и их применение*. Киев, ИЭС им. Е. О. Патона, сс. 70–77.
2. Киселева И. В., Дорохов В. В., Шварцер А. Я., Герасимов Е. А. (1989) Использование электрошлакового обогрева при упрочнительно-восстановительной наплавке зубьев ковшей экскаваторов. *Пробл. спец. электрометаллургии*, **3**, 28–30.
3. Пономаренко В. П., Шварцер А. Я., Строганова Г. В. (1985) Исследование зоны сплавления высокохромистого чугуна с высокомарганцевой сталью при электрошлаковой наплавке. *Металловедение и терм. обработка металлов*, **11**, 55–58.
4. Киселева И. В., Дорохов В. В., Шварцер А. Я., Герасимов Е. А. (1989) Регулирование протяженности переходной зоны методом электрошлакового обогрева. *Пробл. спец. электрометаллургии*, **4**, 15–19.
5. Кусков Ю. М., Соловьев В. Г., Жданов В. А. (2017) Торцевая электрошлаковая наплавка электродом большого сечения в токоподводящем кристаллизаторе. *Автоматическая сварка*, **12**, 40–45.
6. Цыкуленко А. К., Ланцман И. А., Медовар Л. Б. и др. (2000) Двухконтурная схема электрошлакового переплава расходующего электрода. *Пробл. спец. электрометаллургии*, **3**, 16–20.
7. Медовар Л. Б., Цыкуленко А. К., Чернец А. В. и др. (2000) Исследование влияния параметров двухконтурной схемы ЭШН на размеры и форму металлической ванны. *Там же*, **4**, 3–7.
8. Зайцев В. А., Медовар Л. Б., Тищенко П. И. и др. (2011) Применение ЭШН по двухконтурной схеме для получения сталемедных заготовок анодов дуговых печей постоянного тока. *Современная электрометаллургия*, **2**, 3–7.
9. (1986) Патон Б. Е. и Медовар Б. И. (ред.) *Металлургия электрошлакового процесса*. Киев, Наукова думка.
10. (1976) Патон Б. Е. и Медовар Б. И. (ред.) *Электрошлаковые печи*. Киев, Наукова думка.
11. (1980) Патон Б. Е. (ред.) *Электрошлаковая сварка и наплавка*. Москва, Машиностроение.
- iron with high-manganese steel in electroslag surfacing. *Metallovedenie i Term. Obrabotka Metallov*, **11**, 55-58 [in Russian].
4. Kiseleva, I.V., Dorokhov, V.V., Shvartser, A.Ya., Gerasimov, E.A. (1989) Regulation of extension of transition zone by electroslag heating method. *Problemy Spets. Elektrometallurgii*, **4**, 15-19 [in Russian].
5. Kuskov, Yu.M., Soloviov, V.G., Zhdanov, V.A. (2017) Electroslag surfacing of end faces with large-section electrode in current-supplying mould. *The Paton Welding J.*, **12**, 29-32.
6. Tsykulenko, A.K., Lantsman, I.A., Medovar, L.B. et al. (2000) Two-circuit electroslag remelting of consumable electrode. *Problemy Spets. Elektrometallurgii*, **3**, 16-20 [in Russian].
7. Medovar, L.B., Tsykulenko, A.K., Chernets, A.V. et al. (2000) Examination of influence of two-circuit ESR parameters on sizes and shape of metal pool. *Ibid.*, **4**, 3-7 [in Russian].
8. Zajtsev, V.A., Medovar, L.B., Tishchenko, P.I. et al. (2011) Application of two-circuit ESR for producing of steel-copper anode billets of d.c. arc furnaces. *Sovrem. Elektrometall.*, **2**, 3-7 [in Russian].
9. (1986) *Metallurgy of electroslag process*. Ed. by B.E. Paton, B.I. Medovar. Kiev, Naukova Dumka [in Russian].
10. (1976) *Electroslag furnaces*. Ed. by B.E. Paton, B.I. Medovar. Kiev, Naukova Dumka [in Russian].
11. (1980) *Electroslag welding and surfacing*. Moscow, Mashinostroenie [in Russian].

Ю. М. Кусков, В. Г. Соловйов, П. П. Осечков, В. В. Осін

ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України.
03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11.
E-mail: office@paton.kiev.ua

ЕЛЕКТРОШЛАКОВЕ НАПЛАВЛЕННЯ ТОРЦІВ ЗАГОТОВОК З ВИКОРИСТАННЯМ ВИТРАТНОГО ТА НЕВИТРАТНОГО ЕЛЕКТРОДІВ

Отримання при торцевому електрошлаковому наплавленні витратним електродом великого перерізу мінімального та рівномірного проплавлення основного металу являє собою складну задачу. Найбільш перспективно використовувати для цих цілей невитратний електрод — струмопідвідний кристалізатор. Досліджували вплив різних електричних схем підключення електродів різного діаметра від одного або двох джерел живлення змінного струму на проплавлення основного металу. Встановлено, що з точки зору отримання оптимальної технології наплавлення (досягнення не тільки якісних показників, а й підвищеної продуктивності процесу) перспективно використовувати схему наплавлення з одним джерелом живлення і однаковими потенціалами на піддоні і струмопровідній секції струмопідвідного кристалізатора. Схема електрошлакового наплавлення з двома джерелами дозволяє отримувати аналогічні результати, але більш складна по виконанню (наявність двох джерел) і, відповідно, економічно менш доцільна. Отримані результати можуть скласти банк даних для побудови системи автоматичного регулювання проплавлення основного металу при торцевій електрошлаковій наплавці. Бібліогр. 11, табл. 1, рис. 3.

Ключові слова: торцева електрошлакова наплавка, витратний електрод великого перерізу, струмопідвідний кристалізатор, джерела живлення змінного струму, проплавлення основного металу

References

1. Shvartser, A.Ya., Dorokhov, V.V., Ponomarenko, V.P. (1982) Development of electroslag surfacing method of excavator bucket teeth. *In: Modern methods of surfacing and their application*. Kiev, PWI, 70-77 [in Russian].
2. Kiseleva, I.V., Dorokhov, V.V., Shvartser, A.Ya., Gerasimov, E.A. (1989) Application of electroslag heating in hardening-restoration surfacing of excavator bucket teeth. *Problemy Spets. Elektrometallurgii*, **3**, 28-30 [in Russian].
3. Ponomarenko, V.P., Shvartser, A.Ya., Stroganova, G.V. (1985) Examination of fusion zone of high-chromium cast

Yu.M. Kuskov, V.G. Solovjov, P.P. Osechkov, V.V. Osin*

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine.
11 Kazimir Malevich Str., 03150, Kyiv, Ukraine.
E-mail: office@paton.kiev.ua

ELECTROSLAG SURFACING OF BILLET
END FACES WITH APPLICATION OF CONSUMABLE
AND NONCONSUMABLE ELECTRODES

Producing minimum and uniform penetration of base metal at electroslag surfacing of end faces by consumable electrode of a large cross-section is a complex task. The most promising is the application of nonconsumable electrode — current-supplying mould for these purposes. Influence of different electric circuits of connection of electrodes of different diameter from one or

two A.C. power sources on base metal penetration was studied. It is found that from the viewpoint of optimizing the surfacing technology (not only achievement of quality indices, but also increased process efficiency), it is promising to apply the surfacing circuit with one power source and the same potentials on the tray and current-conducting section of the current-supplying mould. Circuit of electroslag surfacing with two sources allows producing similar results, but it is more complicated to implement (presence of two sources) and less cost-effective, respectively. Obtained results can make up the data bank for designing a system of automatic regulation of base metal penetration at electroslag surfacing of end faces. 11 Ref., 1 Tabl, 3 Fig.

Keywords: electroslag surfacing of end faces, large cross-section consumable electrode, current-supplying mould, A.C. power sources, base metal penetration

Поступила в редакцию 15.11.2017

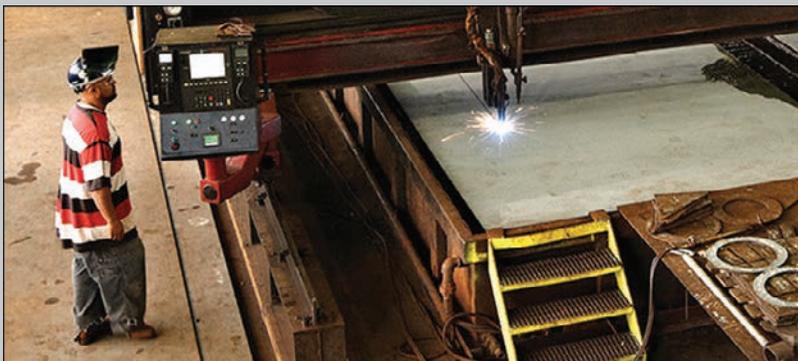


Hypertherm — 50 лет инноваций в области промышленной резки

Компания Hypertherm, производитель промышленных систем и программного обеспечения для резки, отметила свой 50-й год инноваций в области промышленной резки, внедряя новые программы, призванные повысить качество работ.

С момента своего основания в 1968 г. Диком Коучем, компания Hypertherm работала над удовлетворением потребностей клиентов, постоянно предлагая инновации, направленные на повышение производительности и рентабельности.

«Акцент Hypertherm всегда заключался в том, чтобы помочь нашим клиентам снизить эксплуатационные расходы и повысить производительность резки, чтобы они могли достичь роста своей прибыльности. Это то, что мы продолжаем делать и сегодня. В партнерстве с нашими клиентами мы помогаем им выбрать правильное решение для достижения своих бизнес-целей», — сказал президент и главный исполнительный директор Hypertherm Эван Смит.



Г-н Коуч и проф. Боб Дин, работая в гараже, обнаружили, что радиальный ввод воды в плазменное режущее сопло обеспечивает более узкую дугу, позволяющую более точно и быстро резать металл, практически исключая тяжелые шлаки и двойные газы, искрение. Сегодня системы для резки Hypertherm используются при строительстве кораблей, поездов, землеройного оборудования, зданий, стадионов, мостов и т. п.

Благодаря значительным инвестициям в исследования и разработки, инженеры компании продвигают на рынок многочисленные революционные технологии. Они включают процессы HyDefinition[®], HyPerformance[®] и, в последнее время, плазменные процессы X-Definition[™].

Hypertherm разрабатывает и производит промышленные изделия, используемые в различных отраслях промышленности. Его линейка продуктов включает системы резки, роботизированное программное обеспечение и расходные материалы. Системы Hypertherm отличаются высокой производительностью и надежностью, что приводит к повышению рентабельности для сотен тысяч предприятий.

В компании Hypertherm со 100-процентным ассоциированным капиталом работает более 1400 сотрудников. Она имеет представительства во многих странах и множество партнеров по всему миру.