



5 (45) 2005

Журнал выходит 6 раз в год.  
Издается с апреля 1998 г.  
Подписной индекс 22405

Журнал награжден Почетной грамотой и Памятным знаком  
Кабинета Министров Украины

Свидетельство о регистрации КВ № 3102 от 09.03.98

**Учредители** Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Государственное внедренческое предприятие «Экотехнология»

**Издатель** ГВП «Экотехнология»

**Издание журнала поддерживают**



Общество сварщиков Украины, Национальный технический университет Украины «КПИ»  
Журнал издается при содействии  
UNIDO

**Главный редактор** К. А. Ющенко

**Зам. главного редактора** Б. В. Юрлов, Е. К. Доброхотова

**Редакционная коллегия** В. В. Андреев, В. Н. Бернадский, Ю. К. Бондаренко, Ю. В. Демченко, В. М. Илющенко, А. А. Кайдалов, О. Г. Левченко, П. П. Проценко, И. А. Рябцев

**Редакционный совет** В. Г. Фартушный (председатель), Н. М. Кононов, П. А. Косенко, М. А. Лактионов, Я. И. Микитин, Г. В. Павленко, В. Н. Проскудин, А. Д. Размышилев, А. В. Щербак

**Редакция** Т. Н. Мишина, А. Л. Берзина, В. Ю. Демченко, Н. В. Кильчевский

**Маркетинг и реклама** Е. Б. Юрлов, В. Г. Абрамишвили

**Верстка** Т. Д. Пашигрова, А. Е. Рублева

**Адрес редакции** 03150 Киев, ул. Горького, 62

**Телефон** +380 44 528 3523, 287 6502

**Факс** +380 44 287 6502

**E-mail** welder@svitonline.com

**URL** http://www.et.ua/welder/

**Представительство в Беларусь**

Минск  
Вячеслав Дмитриевич Сиваков  
+375 17 213 1991, 246 4245

**Представительство в России**

Москва  
Александр Николаевич Тымчук  
+7 095 291 7733 (т./ф.)  
e-mail: welder@sovintel.ru  
www.welder.ru  
ООО «АНТ «Интеграция»

**Представительство в Прибалтике**

Рига, Янис Андерсонс  
+371 7 538 974, +371 7 538 345 (ф.)  
e-mail: janis37@navigator.lv  
Вильнюс, Александр Шахов  
+370 52 47 4301  
ПФ «Рекламос Центрас»

**Представительство в Болгарии**

София, Стоян Томанов  
+359 2 953 0841, 954 9451 (ф.)  
e-mail: evertood@mail.bg  
ООД «Еверт–КТМ»

За достоверность информации и содержание рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели. Мнение авторов статей не всегда совпадает с позицией редакции. Рукописи не рецензируются и не возвращаются.

Редакция оставляет за собой право редактировать и сокращать статьи. Переписка с читателями — только на страницах журнала. При использовании материалов в любой форме ссылка на «Сварщик» обязательна.

Подписано в печать 27.09.2005. Формат 60×84 1/8.

Печать офсетная. Бумага офсетная № 1.

Гарнитура Petersburg CTT. Усл. печ. л. 5,0. Уч.-изд. л. 5,2.

Зак. № 27/09 от 27.09.2005. Тираж 3000 экз.

Печать ООО «Людопринт Украина», 2005.

01023 Киев, ул. Ш. Руставели, 39-41, к. 1012-1014.

Тел. (044) 289-0879, 287-4280.

© «Экотехнология», 2005

# Сварщик

Информационно-технический журнал

Технологии  
Производство  
Сервис



## СОДЕРЖАНИЕ

**Новости техники и технологий** ..... 3

### Производственный опыт

- Технологии и оборудование для индукционной термообработки материалов и деталей на Минском автомобильном заводе.  
*П. С. Гурченко, А. И. Михлик* ..... 6
- Дуговая наплавка деталей металлургического оборудования.  
*В. И. Титаренко, А. А. Голякевич, Л. Н. Орлов, Ю. М. Гитин, В. В. Мосыпан, М. А. Бабенко, А. Г. Горяной, Г. В. Хоменко* ..... 10

**Наши консультации** ..... 14

### Технологии и оборудование

- Размагничивание изделий перед сваркой.  
*А. А. Кайдалов, В. А. Сокирко* ..... 16
- Плазменно-электролитная полировка металлов.  
*С. В. Ващенко, В. Л. Ермаков, А. Я. Каменев, Л. А. Климова, Э. П. Кревсун* ..... 22
- Новый комплекс оборудования для плазменно-дуговой сварки алюминиевых сплавов.  
*А. А. Гринюк, А. Г. Покляцкий* ..... 24
- Сопротивление наплавочных сплавов на основе железа абразивному изнашиванию.  
*D. J. Kotecki, J. S. Ogborn* ..... 29
- Плазменное упрочнение колес и рельсов.  
*С. В. Петров* ..... 34
- Повышение износостойкости быстрорежущих инструментальных сталей при обработке импульсным электрическим током.  
*Ю. В. Баранов* ..... 38
- Переносная машина АСШ-500 для фигурной резки листового проката.  
*А. М. Семернев, Е. А. Скуднов* ..... 42

### Охрана труда

- Гигиеническая характеристика сварки под флюсом и оздоровление условий труда сварщиков.  
*О. Г. Левченко* ..... 44
- Про природу виробничого травматизму.  
*А. О. Водяник* ..... 46

### Выставки

- Промышленный форум состоялся в Одессе ..... 49

### Из истории гидроэнергетики

- Днепрогэс.  
*Т. П. Мороз* ..... 50
- Межгосударственные стандарты ..... 53

2005 сентябрь–октябрь

5

<b>Новини техніки і технологій .....</b>	<b>3</b>
<b>Виробничий досвід</b>	
○ Технології устаткування для індукційної термообробки матеріалів і деталей на Мінському автомобільному заводі. <i>П. С. Гурченко, А. І. Михлюк .....</i>	<b>6</b>
○ Дугове наплавлення деталей металургійного встаткування. <i>В. І. Титаренко, А. А. Голякевич, Л. М. Орлов, Ю. М. Гітін, В. В. Мосипан, М. А. Бабенка, А. Г. Горяной, Г. В. Хоменко .....</i>	<b>10</b>
<b>Наші консультації .....</b>	<b>16</b>
<b>Технології і устаткування</b>	
○ Розмагнічування виробів перед зварюванням. <i>А. А. Кайдалов, В. А. Сокирко .....</i>	<b>16</b>
○ Плазмово-електролітне полірування металів. <i>С. В. Вашченко, В. Л. Єрмаков, А. Я. Каменев, Л. А. Клімова, Е. П. Кревсун .....</i>	<b>22</b>
○ Новий комплекс устаткування для плазмово-дугового зварювання алюмінієвих сплавів. <i>А. А. Грінюк, А. Г. Покляцкий .....</i>	<b>24</b>
○ Опір наплавочних сплавів на основі заліза абразивному зношуванню. <i>D. J. Kotecki, J. S. Ogborn .....</i>	<b>29</b>
○ Плазмове зміщення коліс і рейок. <i>С. В. Петров .....</i>	<b>34</b>
○ Підвищення зносостійкості швидкорізальних інструментальних сталей при обробці імпульсним електричним струмом. <i>Ю. В. Баранов .....</i>	<b>38</b>
○ Переносна машина АСШ-500 для фігурного різання листового прокату. <i>А. М. Семернєв, Е. А. Скуднов .....</i>	<b>42</b>
<b>Охорона праці</b>	
○ Гігієнічна характеристика зварювання під флюсом і оздоровлення умов праці зварників. <i>О. Г. Левченко .....</i>	<b>44</b>
○ Про природу виробничого травматизму. <i>А. О. Водяник .....</i>	<b>46</b>
<b>Виставки</b>	
○ Промисловий форум відбувся в Одесі .....	<b>49</b>
<b>3 історії гідроенергетики</b>	
○ Дніпрогес. <i>Т. П. Мороз .....</i>	<b>50</b>
● Міждержавні стандарти .....	<b>53</b>

**CONTENT**

<b>News of technique and technologies .....</b>	<b>3</b>
<b>Industrial experience</b>	
○ Technologies and equipment for induction heat treatment of materials and details on Minsk automobile factory. <i>P. S. Gurchenko, A. I. Mikhlyuk .....</i>	<b>6</b>
○ Arc cladding of details of the metallurgical equipment. <i>V. I. Titarenko, A. A. Golyakevich, L. N. Orlov, Yu. M. Gritin, V. V. Mosypyan, M. A. Babenko, A. G. Goryanov, G. V. Khomenko .....</i>	<b>10</b>
<b>Our consultations .....</b>	<b>14</b>
<b>Technologies and equipment</b>	
○ Demagnetization of products before welding. <i>A. A. Kaydalov, V. A. Sokirko .....</i>	<b>16</b>
○ Plasma electrolytic polishing of metals. <i>S. V. Vashchenko, V. L. Ermakov, A. Ya. Kamenev, L. A. Klimova, E. P. Krebsun .....</i>	<b>22</b>
○ New complex of the equipment for plasma-arc welding of aluminium alloys. <i>A. A. Grinyuk, A. G. Poklyatskiy .....</i>	<b>24</b>
○ Resistance of cladding alloys on the basis of iron to abrasive wear. <i>D. J. Kotecki, J. S. Ogborn .....</i>	<b>29</b>
○ Plasma hardening of wheels and rails. <i>S. V. Petrov .....</i>	<b>34</b>
○ Increase of wear resistance of high speed tool steels at processing by a pulse electrical current. <i>Yu. V. Baranov .....</i>	<b>38</b>
○ The portable machine ASSh-500 for figured cutting of sheet hire. <i>A. M. Semernev, E. A. Skudnov .....</i>	<b>42</b>
<b>Labor protection</b>	
○ The hygienic characteristic of welding under flux and improvement of working conditions of the welders. <i>O. G. Levchenko .....</i>	<b>44</b>
○ About a nature of production traumatism. <i>A. E. Vodyanik .....</i>	<b>46</b>
<b>Exhibitions</b>	
○ The industrial forum was held in Odessa .....	<b>49</b>
<b>From a history of water-power engineering</b>	
○ Dneproges. <i>T. P. Moroz .....</i>	<b>50</b>
● Interstate standards .....	<b>53</b>

Технології  
Виробництво  
Сервіс



**5 (45) 2005**

Журнал виходить 6 разів на рік.

Видається з квітня 1998 р.

Передплатний індекс **22405**

Журнал нагороджений Почесною грамотою і  
Пам'ятним знаком Кабінету Міністрів України

Свідоцтво про реєстрацію КВ № 3102 від 09.03.98

**Засновники**

Інститут електрозварювання  
ім. Є. О. Патона НАН України,  
Державне впроваджувальне  
підприємство «Екотехнологія»

ДВП «Екотехнологія»

**Видавець**

Товариство зварників України,  
Національний технічний університет  
України «КПІ»  
Журнал видається за сприяння  
UNIDO



**Головний редактор**

К. А. Ющенко

**Заст. головного редактора**

Б. В. Юрлов, Є. К. Доброхотова

**Редакційна колегія**

В. В. Андреєв, В. М. Бернадський,  
Ю. К. Бондаренко, Ю. В. Демченко,  
В. М. Ілюшенко, А. А. Кайдалов,  
О. Г. Левченко, П. П. Проценко,  
І. О. Рябцев

**Редакційна рада**

В. Г. Фартушний (голова),  
М. М. Кононов, П. О. Косенко,  
М. О. Лактіонов, Я. І. Микітін,  
Г. В. Павленко, В. М. Проскудін,  
О. Д. Розмішляєв, О. В. Щербак

**Редакція**

Т. М. Мішина, Г. Л. Берзіна,  
В. Ю. Демченко, М. В. Кільчевський

**Маркетинг і реклама**

Є. Б. Юрлов, В. Г. Абрамішвілі

**Верстка**

Т. Д. Пашигорова, А. Є. Рубльова

**Адреса редакції**

03150 Київ, вул. Горького, 62

**Телефон**

+380 44 528 3523, 287 6502

**Факс**

+380 44 287 6502

**E-mail**

welder@svitonline.com

**URL**

http://www.et.ua/welder/

**Представництво в Біларусі**

Мінськ  
В'ячеслав Дмитрович Сиваков  
+375 17 213 1991, 246 4245

**Представництво в Росії**

Москва  
Олександр Миколайович Тимчук

+7 905 291 7733 (т./ф.)  
e-mail: welder@sovintel.ru  
www.welder.ru

ТОВ «ААНТ «Інтеграція»

Рига, Яніс Андерсонс  
+371 7 538 974, +371 7 538 345 (ф.)  
e-mail: janis37@navigator.lv

Вільнюс, Олександр Шахов

+370 2 47 4301  
ПФ «Рекламос Центрас»  
Софія, Стоян Томанов  
+359 2 953 0841, 954 9451 (т./ф.)  
e-mail: evertood@mail.bg

ООД «Еверт-КТМ»

За достовірність інформації та зміст реклами відповідальність несе автори та рекламидаці. Думка авторів статей не завжди співпадає з позицією редакції.  
Рукописи не рецензуються і не повертаються.

Редакція залишає за собою право редагувати та скорочувати статті. Листування з читачами — тільки на сторінках журналу. У разі використання матеріалів у будь-якій формі посилання на «Сварщик» обов'язкове.

Підписано до друку 27.09.2005. Формат 60×84 1/8.

Офсетний друк. Папір офсетний №1. Гарнітура PetersburgCTT. Ум. друк. арк. 5,0. Обл.-вид. арк. 5,2.

Зам. № 27/09 від 27.09.2005. Наклад 3000 прим.

Друк ТОВ «Людопrint Україна», 2005.

01023 Київ, вул. Ш. Руставелі, 39–41, к. 1012–1014.

Тел. (044) 289–0879, 287–4280.

© «Екотехнологія», 2005

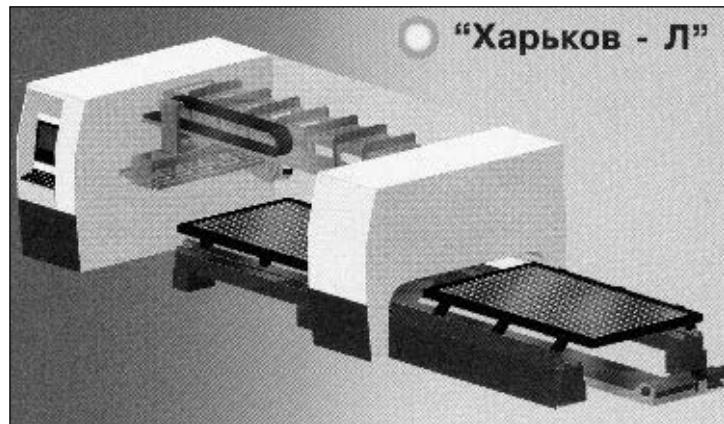


## Машина «Харьков-Л» для лазерной резки металла

Лазерная резка — наиболее прогрессивная технология получения деталей из листовых как металлических (конструкционная и нержавеющая сталь), так и неметаллических (различные пластики, оргстекло, дерево) материалов. Применение этой технологии дает возможность получить точный и качественный контур детали при высокой производительности. Такой эффект достигается за счет применения мощных промышленных CO<sub>2</sub>-лазеров, позволяющих осуществить резку материалов при высоких скоростях перемещения режущей головки.

Используемый в данной машине промышленный CO<sub>2</sub>-лазер Fanuc C4000E или Rofin Sinar мощностью 4 кВт позволяет резать листы металла толщиной до 20 мм. Система управления лазером согласована с ЧПУ Fanuc или Siemens, обеспечивающей перемещение режущей головки по заданной программе раскроя листа, управление режимом работы лазера и вспомогательных систем комплекса. Челночные столы позволяют до минимума сократить время на загрузку листа и выгрузку готовых деталей. Удаление отходов производится с помощью пластинчатого конвейера.

Преимущества машины: высокая производительность, высокое качество реза, рациональное использование листового ме-



талла, снижение затрат на дальнейшую механическую обработку деталей.

### Техническая характеристика:

*Размеры разрезаемого листа, мм:*

ширина . . . . .	1500
длина . . . . .	3000

*Толщина разрезаемого листа,*

*при лазерной резке, мм:*

конструкционной стали . . . . .	До 20
нержавеющей стали . . . . .	До 12
алюминия . . . . .	До 8

*Точность позиционирования, мм/м . . ±0,05*

*Точность повторения*

контура, мм/м . . . . .	±0,02
-------------------------	-------

*Мощность лазерного излучателя, кВт . . . 4*

*Масса, кг . . . . .*

● #585

ЗАО «Институт Укроргстанкимпром»  
(Харьков)

## Переносная шлифовальная машина для зачистки поверхности рельса

Бескабельная переносная рельсовая шлифовальная машина SBG-100 массой всего 3175 г, разработанная компанией



ERICO (Electric Railway Improvement Company), Огайо, США, предназначена для обслуживания рельсового стыка. Питание обеспечивают аккумуляторы напряжением 18 В. Скорость вращения диска 6500 об/мин. Этот мощный инструмент весьма компактен и эргономичен: трехпозиционная боковая рукоятка (под левую руку) позволяет контролировать процесс шлифования. Удобно пользоваться выключателем, расположенным на рукоятке для правой руки.

Машину поставляют в комплекте с двумя аккумуляторными батареями, одночасовым зарядным устройством, ключом, зарядным устройством, работающим от транспортного средства, а также со специальными сертифицированными шлифовальными дисками. Уникальные органические диски зачистки эффективно готовят поверхность рельса к сварке. Диски являются самоочищающимися и не оставляют смолистых следов на обрабатываемой поверхности рельса.

● #586

<http://www.nestor.minsk.by>

## Новый мощный СО<sub>2</sub>-лазер «Сибирь»

В ОКБ лазерной техники при Сибирском отделении Российской академии наук (СО РАН) совместно с Институтом теоретической и прикладной механики СО РАН создана лазерная установка на базе СО<sub>2</sub>-лазера мощностью 8 кВт, а также опытный образец нового СО<sub>2</sub>-лазера «Сибирь» мощностью 14 кВт.

Новый лазер имеет три конструктивные особенности:

- работает на общедоступных и дешевых газах: диоксиде углерода (СО<sub>2</sub>) и воздухе (в других лазерах к диоксиду углерода вынуждены добавлять более дорогие азот и гелий);
- новый резонатор дает возможность получать качественный волновой фронт

при мощности излучения свыше 10 кВт. Это позволяет резать материалы большей толщины и с большей скоростью. Так, скорость резки легированной углеродистой стали с помощью нового лазера составляет 2 м/мин;

- в состав лазера входит уникальный, не имеющий аналогов узел, который одновременно охлаждает рабочие газы и обеспечивает прокачку газа через разрядный контур. Это позволило на порядок уменьшить геометрические размеры установки.

Области применения лазера «Сибирь» — упрочнение деталей двигателей, сварка нефтепроводов, резка деталей мостов, резка и сварка в авиационной промышленности.

● #587

<http://sis.sibpressa.ru/>

## Тележка для скоростных пассажирских вагонов

Специалисты Крюковского вагонзавода (Кременчуг) постоянно работают над совершенствованием конструкции вагонов в направлении увеличения скорости движения, повышения комфортности и безопасности. Одной из основных задач, успешно решенных на предприятии, стало создание скоростной пассажирской тележки модели 68-7007/68-7012, которая позволяет эксплуатировать пассажирские вагоны на скорости до 200 км/ч.

Безлюльковая тележка предназначена для использования на скоростных пассажирских вагонах Украины, СНГ и стран Балтии со скоростью движения до 160 км/ч (при определенных доработках может эксплуатироваться на скорости 200 км/ч). Тележка спроектирована в соответствии с нормами и особенностями эксплуатации подвиж-

ного состава на железных дорогах СНГ и нормами содержания верхнего строения железнодорожной колеи.

Тележка оборудована:

- торсионным приспособлением, обеспечивающим эффективное гашение боковых колебаний кузова вагона;
- средствами гашения высокочастотной составляющей вертикальных в буксовой и вертикальных и горизонтальных колебаний в центральной ступенях подвешивания;
- дисковым тормозом и средством контроля проскальзывания колес относительно рельсов;
- датчиками активного измерения температуры буксовых узлов в реальном масштабе времени;
- механизмами передачи продольных и поперечных усилий между кузовом вагона и тележкой, которые имеют разные жесткостные характеристики, обусловленные их функциональным назначением.

Тележка обеспечивает реальное увеличение скорости движения, уменьшение уровня шума и динамического влияния на колею, существенно улучшает плавность хода. Конструкция тележки позволяет поднимать ее вместе с кузовом вагона, что облегчает замену колесных пар при переходе с широкой колеи на более узкую и при их ремонте.

● #588

Концерн «Крюковский вагон завод»  
(Кременчуг)

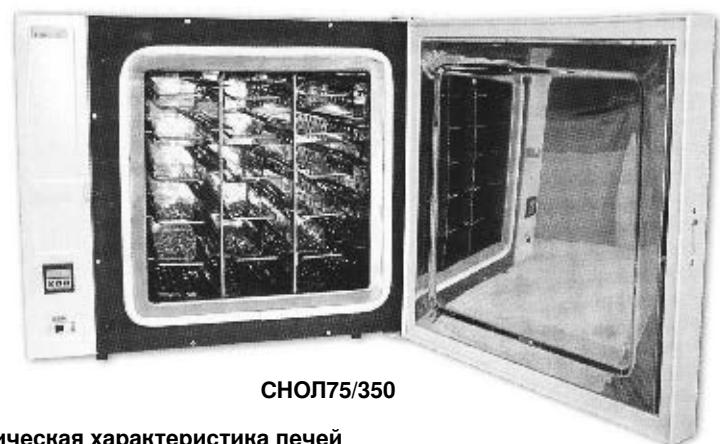
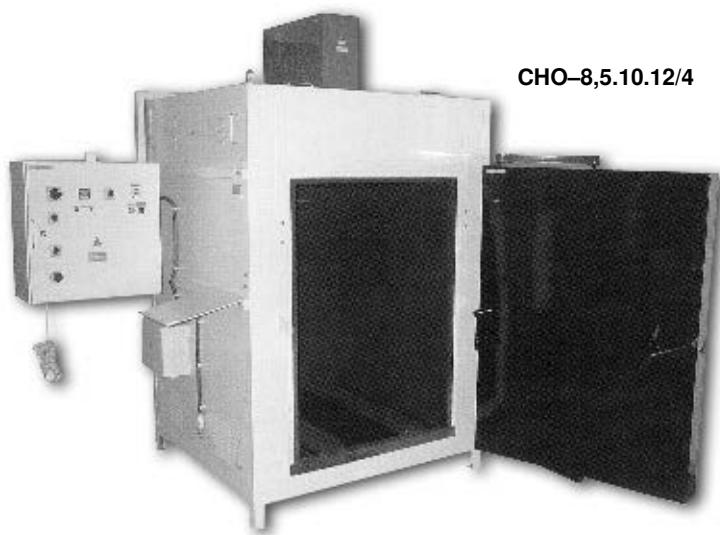
## Печи для сушки сварочных электродов

Печи для сушки электродов находят широкое применение в производстве, использующем сварочные технологии. Их изготавливают с учетом требований заказчика. Поставляют как серийные образцы оборудования, так и нестандартные конструкции (*таблица*).

Все изделия комплектуют надежным микропроцессорным регулятором температуры (гарантия 30 мес.), системой принудительной циркуляции воздуха, запасными нагревателями (нестандартные конструкции печей). Печи могут быть полезны как на небольших производствах (модели СНОЛ7, СНОЛ75), так и на производствах ответственных металлоконструкций, где используют большое количество электродов.

Любая модель печи может быть оснащена компьютерной системой архивирования текущей информации, с возможностью построения графиков изменения температурного режима в реальном времени.

Для изготовления печей применяют современные теплоизоляционные материалы. Печи комплектуют надежными системами контроля и управления.



**Таблица. Техническая характеристика печей**

Параметр	СНОЛ7/400	СНОЛ75/350	СНОЛ75/400	СНО-8,5.10.8,5/4	СНО-8,5.10.12/4	СНО-12.18.12/4	СНО-8.6.8/5
Номинальная мощность, кВт / число фаз	1/1	4/1	5/3	20/3	18-21/3	45	21/3
Напряжение питающей сети, В	220	220	380	380	380	380	380
Предел автоматического регулирования температуры, °С	До 400	До 350	До 400	До 400	До 400	До 400	До 500
Время разогрева до минимальной температуры, мин, не более	—	—	—	45	60	60	60
Размеры рабочей камеры, мм:							
ширина	75	390	390	850	850	1200	800
длина	450	530	530	1000	1000	1800	600
высота	100	390	390	850	1200	1200	800
Габаритные размеры, мм, не более:							
ширина	215	675	675	1500	1550	1970	1450
длина	820	685	685	1400	1400	2400	1000
высота	340	615	615	1900	2250	2250	1850
Масса печи, кг, не более	18	50	50	400	500	1500	380
Масса загрузки, кг, не более	10	75	75	250	350	1500	220

● #589

НПФ «Термоинжиниринг»



# Технологии и оборудование для индукционной термообработки материалов и деталей на Минском автомобильном заводе

*П. С. Гурченко, А. И. Михлюк, Минский автомобильный завод (Республика Беларусь)*

**Индукционная термообработка, наряду с новыми современными процессами упрочнения путем температурного воздействия на металл, является эффективной и высокопроизводительной. Благодаря неограниченным возможностям регулирования температуры и скорости нагрева, отсутствию обезуглероженного слоя и окалины, уменьшению термических деформаций, высокой культуре производства и экономии топливно-энергетических ресурсов индукционная термообработка позволяет решать ряд актуальных проблем производства.**

На Минском автомобильном заводе (МАЗ) все детали в зависимости от типа упрочняемой поверхности можно разделить на следующие группы:

- детали цилиндрической формы, которые составляют около 74%;
- детали сферической формы, составляющие около 11%;
- детали плоской формы, доля которых 7%;
- прочие детали (внутренние и наружные зубчатые венцы, шлицевые поверхности, галтели и др.), составляющие около 8%.

В качестве источников ТВЧ применяют машинные преобразователи мощностью 100 и 250 кВт, частотой 2,4 и 8,0 кГц. Установки ТВЧ расположены как на специализированном участке термообработки ТВЧ,

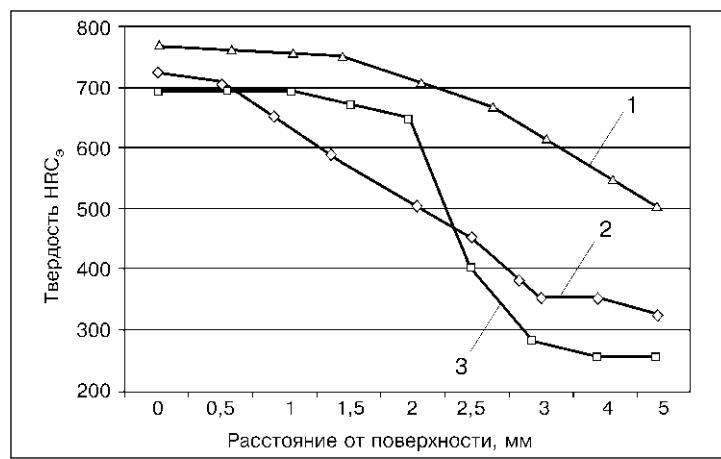
так и в линиях механической обработки. В качестве закалочной среды применяют техническую воду. Марки стали, из которой изготовлены детали, упрочняемые закалкой с применением индукционного нагрева: 35–45, 40Л, 40ХНГМА, 40Х, 40ХН, 35 – 38ХГСА. Рекомендуемые интервалы толщин закаленного слоя: 0,8–2,5; 1,5–4,0; 2,0–5,0; 3,0–6,0; 5,0–9,0 мм. Подобной термообработке подвергают также ряд чугунов, таких как СЧ, КЧ, ВЧ.

**Закалка с применением индукционного нагрева зубчатых поверхностей.** Специалистами МАЗ разработаны и внедрены на Минском автозаводе и Заводе колесных тягачей технология и оборудование для индукционной закалки средненагруженных шестерен модулем от 4 до 12 мм из сталей 40Х и 40ХН. Закалку выполняют непрерывно-последовательно под слоем проточной воды при движении индуктора от вершины зуба к его впадине и далее к вершине соседнего зуба.

Для деталей из сталей 40Х и 40ХН на обрабатываемых поверхностях достигнута твердость 56–62 HRC<sub>3</sub>, при толщине упрочненного слоя 1,5–2,0 мм. По сравнению с действовавшей ранее технологией печного упрочнения новая технология позволила более чем в 300 раз сократить длительность упрочнения, в десятки раз уменьшить термические деформации, сократить затраты на электроэнергию и вспомогательные материалы.

Разработана технология объемно-поверхностной закалки при индукционном нагреве тяжелонагруженных шестерен автомобиля, изготавливаемых из стали пониженной прокаливаемости производства Белорусского металлургического комбината (Жлобин). Выпущена опытная партия автомобилей в количестве около 80 шт. с шестернями главной и колесной передач из ста-

Рис. 1.  
Распределение  
твердости при  
различных  
технологиях  
упрочнения:  
1 — объемно-  
поверхност-  
ная закалка;  
2 — цемен-  
тация; 3 —  
закалка ТВЧ



ли 60ПП; получены положительные результаты стеновых и дорожных испытаний.

На рис. 1 представлен график распределения твердости при закалке по различным технологиям. При объемно-поверхностной закалке (кривая 1) достигается оптимальное распределение твердости от поверхности к основному металлу по сравнению с химико-термической обработкой (кривая 2) и поверхностной закалкой ТВЧ (кривая 3).

**Управляемое упрочнение деталей сложной формы.** Для устранения закалочных трещин и уменьшения деформаций при поверхностной закалке деталей сложной конфигурации на Минском автозаводе созданы и освоены технологии и устройства управляемого водяного охлаждения.

Для закалки деталей сложной формы был исследован и предложен метод управляемого прерывистого охлаждения, заключающийся в чередовании стадий интенсивного охлаждения и дозированных пауз.

В поверхностном слое упрочняемой зоны происходит закалка с самоотпуском на твердость 47–50 HRC<sub>9</sub>, а в слоях, расположенных на расстоянии 0,5–1 мм — ступенчатая закалка до твердости 50–52 HRC<sub>9</sub>.

Специалистами МАЗ совместно со специалистами Минского подшипникового завода был предложен способ закалки автомобильных деталей сложной формы из углеродистых сталей при постоянной температуре закалочной среды (рис. 2). Отличительной особенностью данного способа является то, что при постоянных расходе и давлении охлаждающей воды регулируют и задают ее температуру. Технология нашла применение для закалки шарниров равных угловых скоростей (ШРУСов) легковых автомобилей на установке ТВЧ, закалки корпусов наружных шарниров. Материал — сталь 50. При подаче охлаждающей воды на закаливаемую поверхность со строго заданными температурой, давлением и расходом гарантируется высокое качество закалки и отсутствие закалочных трещин. В настоящее время на установке закаливают корпусы наружных шарниров ШРУСов автомобилей ВАЗ, ЗАЗ, АЗЛК.

В качестве источника ТВЧ применяют машинный преобразователь ППЧВ-250/10 мощностью 250 кВт и рабочей частотой 10 000 Гц.

**Индукционный нагрев заготовок под пластическую деформацию.** На Минском автозаводе индукционный нагрев токами высокой частоты для деформирования

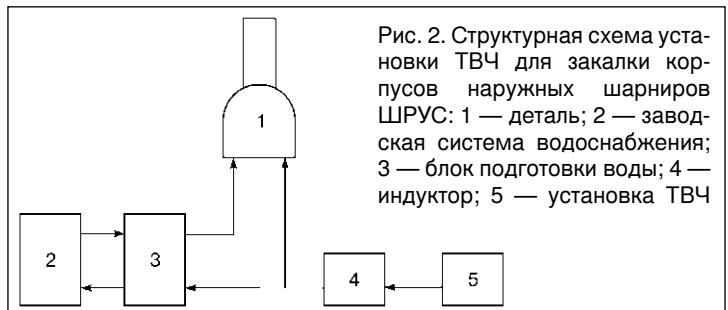
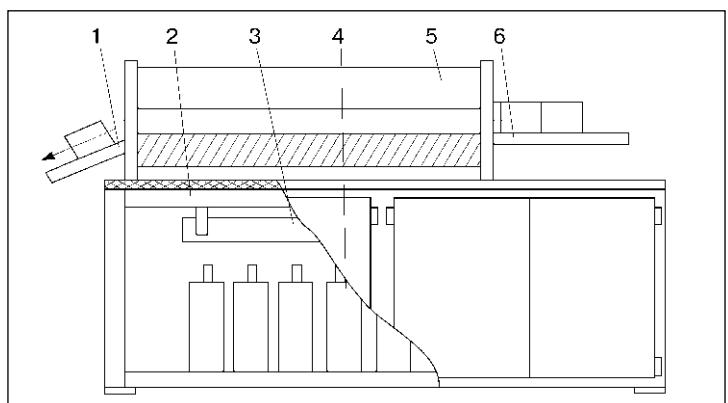


Рис. 2. Структурная схема установки ТВЧ для закалки корпусов наружных шарниров ШРУС: 1 — деталь; 2 — заводская система водоснабжения; 3 — блок подготовки воды; 4 — индуктор; 5 — установка ТВЧ



применяют при изготовлении заготовок и деталей автомобиля из сталей всех марок массой от 0,05 до 43 кг.

Кузнецкие индукционные нагреватели (КИН) используют для сквозного нагрева цилиндрических заготовок с длиной, превышающей диаметр при изготовлении поковок. Схема типового нагревателя конструкции МАЗ показана на рис. 3. Он состоит из сварного каркаса 2, индуктора 5, параллельно подсоединенными к нему при помощи водоохлаждаемых медных шин 3, конденсаторной батареи 4, которая служит для компенсации реактивной мощности индуктора, механизма загрузки заготовок 6, лотка для выгрузки заготовок 1. Загрузку и продвижение заготовок через индуктор осуществляют устройство толкателного типа с бункерным накопителем. В цехах Минского автозавода эксплуатируют индукторы 16 типоразмеров длиной 1000 и 2000 мм, на которых производят нагрев под ковку, штамповку и высадку заготовок диаметром от 22 до 90 мм и длиной до 300 мм.

Индукторы выполняют с бетонированными секциями либо сборными с жаро-прочными изоляционными втулками из керамики. Оба типа индукторов нашли широкое применение. На рис. 4 показан сборный индуктор для нагрева круглых заготовок. Индуктор состоит из шести секций 6, соединенных с помощью соединительных колодок 5 и размещенных между

Рис. 3.  
Схема  
кузнецкого  
индукционного  
нагревателя  
КИН 500  
конструкции  
МАЗ

верхним и нижним дубовыми брусьями 9. Внутри секций индуктора находятся керамические жароупорные втулки 3, ограниченные в осевом направлении асбестоцементными плитами 1 и изолирующей асбестоцементной прокладкой 4. В пазах втулок 3 размещены водоохлаждаемые жароупорные направляющие 10 для перемещения нагреваемых заготовок 2. На верхнем брусе расположены водораспределительные колодки 7 подачи воды к секциям индуктора. Напряжение на индуктор подается через контактные колодки 8.

Другой тип широко применяемых индукторов — бетонируемый индуктор (*рис. 5*). Индукционный виток 1 этого индуктора состоит из нескольких секций, соединенных последовательно или параллельно-последовательно. Внутри индуктора расположены две водоохлаждаемые трубчатые направляющие 2 для поддержания нагреваемой заготовки. Для бетонирования применяют жаростойкий и теплоизолирующий бетон 3. Индуктор присоединен к источнику тока через медные контактные планки 4.

Для индукторов длиной 1000 мм применяют последовательное соединение секций, для индукторов длиной 2000 мм типы соединения показаны на *рис. 6*. При последовательном соединении секций (*рис. 6, а*) необходимая скорость нагрева обеспечивается количеством витков индуктора. Этот тип соединения применяют для нагрева

заготовок диаметром до 55 мм. При параллельно-последовательном соединении (*рис. 6, б*) секции последовательно соединены в две параллельные линии, которые подсоединяются к токоведущим шинам. Этот тип соединения применяют для нагрева заготовок диаметром от 55 до 70 мм.

Для равномерного нагрева заготовок диаметром 75–90 мм разработали схему ускоренного нагрева заготовок (*рис. 6, в*). Первые четыре секции соединены последовательно, две последние — параллельно и последовательно с первыми четырьмя. Такое соединение секций обеспечивает интенсивный нагрев заготовок на первых четырех секциях и выравнивание температуры по всему сечению на последних, где плотность тока в два раза меньше. Время нагрева в таком индукторе сокращается на 40%.

Широко распространен на «РУП МАЗ» сквозной местный индукционный нагрев концов заготовок под горячее пластическое деформирование при изготовлении мелких деталей типа болтов, гаек, угольников, шаровых пальцев, заглушек и других заготовок диаметром от 10 до 30–32 мм при длине нагреваемой зоны от 25 до 70 мм. Участок горячего выдавливания состоит из 11 рабочих постов в составе кривошипного пресса типа КГШП (усилием 100–250 т) и нагревательного поста ТВЧ. Для их питания использованы преобразователи ОПЧ250/10 с рабочей частотой 10000 Гц, включенные в локальную сеть суммарной мощностью 1000 кВт.

**Термообработка с применением индукционного нагрева длинномерных изделий (от 2 до 6 м).** Установка для нагрева чiselного зуба длиной более 2 м внедрена на Кобринском автоагрегатном заводе. Ее оригинальность заключается в том, что заготовка квадратного сечения нагревается одновременно по всей длине в петлевом одновитковом индукторе. Индуктор с обоих концов имеет токоподводящие шины, которые подключены к отдельным трансформаторам и соединены последовательно между собой. Чтобы заготовка не изгибалась в результате теплового расширения, предусмотрена возможность свободного увеличения ее длины в обе стороны. Длина рабочего окна индукторов составляет от 1600 до 2750 мм, высота — 25–65 мм.

На Минском рессорном заводе с помощью специалистов МАЗ внедрили установку для индукционного нагрева заготовок рессорной полосы под прокатку листов длиной до 2,2 м. В настоящее время эксплу-

Рис. 4.  
Индуктор  
кузнецкого  
нагревателя  
типа КИН,  
применяемый  
на МАЗ

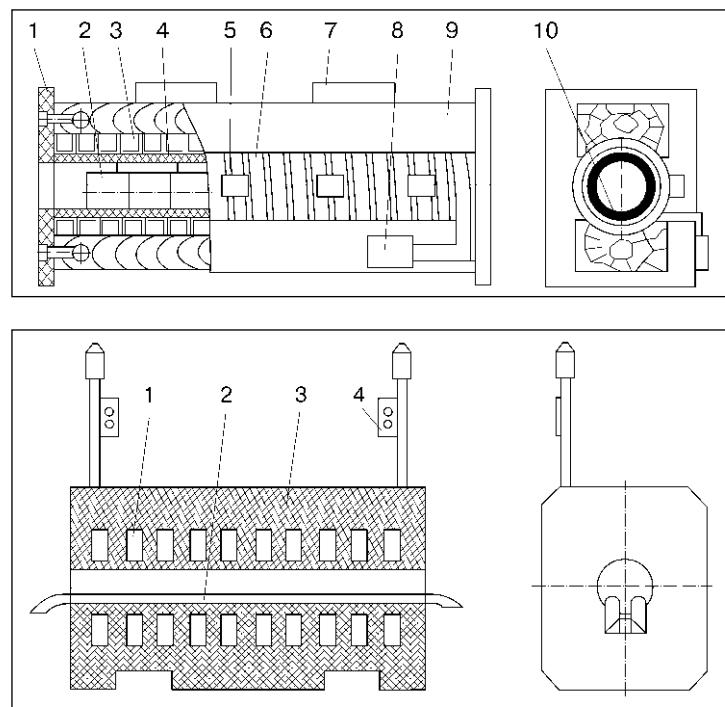


Рис. 5. Бетонированный индуктор для нагрева заготовок

атируют четыре индукционные установки общей мощностью генераторов 1200 кВт. Общий объем нагреваемого проката на Минском рессорном заводе составляет 80 т в месяц или 300–400 листов в смену.

Линия рекристаллизационного отжига с нагревом ТВЧ прутков диаметром 18–38 мм предназначена для изготовления крепежных деталей с наружной резьбой. Сейчас она находится в стадии внедрения. Линия работает следующим образом. Заготовки укладывают на стеллаж загрузки, и механизм загрузки поочередно подает их в приводные ролики, которые проталкивают заготовки через индуктор. Здесь происходит их нагрев. На выходе из индуктора заготовку захватывает приводной ролик, извлекает из индуктора, а механизм выгрузки укладывает ее на позицию складирования для спокойного остывания на воздухе. Направление витков первой и второй секций противоположно направлению витков третьей и четвертой секций, что за счет магнитных полей встречного направления устраняет влияние блуждающего тока на металлические конструкции установки. Для питания применен машинный преобразователь ППЧВ-250/2400 мощностью 250 кВт и частотой 2400 Гц, что позволяет обеспечить нагрев прутков диаметром 18–38 мм на всю глубину сечения.

Выполнен комплекс опытно-исследовательских и экспериментальных работ по термической обработке прямоугольных сварных труб, применяемых для изготовления каркасов автобусов МАЗ.

Скоростная термическая обработка с индукционным нагревом, заключающаяся в нормализации непрерывно движущейся трубы вдоль неподвижного индуктора, позволяет при практически одинаковых прочностных показателях повысить до 40–45% пластичность материала трубы, что резко повышает срок службы каркаса автобуса. Изготовлены и успешно эксплуатируются два опытных автобуса с каркасами из термообработанных труб.

Автоматическая линия МА 105 для гибки вала стабилизатора длиной 3 м диаметром 45–55 мм из стали 40Х, 40ХН, 30ХГС внедрена в кузнецком цехе Минского автозавода.

Нагрев осуществляют одновременно в двух одинаковых индукторах для двух обрабатываемых участков длиной до 500 мм на концах заготовки. Заготовка последовательно передается автоматическим манипулятором с позиции загрузки на позицию

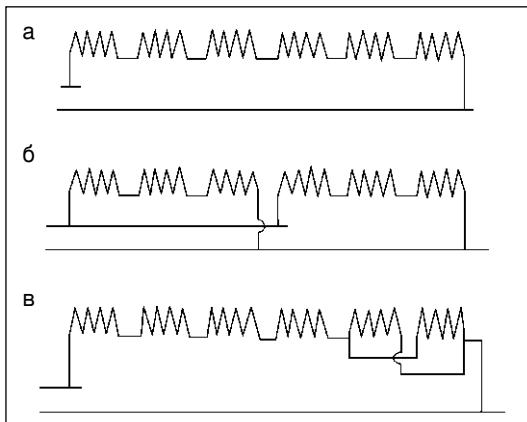


Рис. 6.  
Схемы соединения секций индуктора КИН:  
а — последовательное;  
б — параллельно-последовательное;  
в — для ускоренного нагрева заготовок

предварительного подогрева и далее на позицию окончательного нагрева и на позицию гибки. За счет оптимального выбора скоростей нагрева и с учетом выравнивания температуры на операциях переноса получают равномерное распределение температуры нагрева заготовки по сечению.

**Термообработка деталей для ремонтного и вспомогательного производства.** На Минском автомобильном заводе был разработан, изготовлен и внедрен специальный станок для закалки ТВЧ направляющих станин металлорежущих станков после капитального ремонта.

Установка разработана на основе радиально-сверлильного станка с установленным на нем закалочным трансформатором и пускорегулирующей аппаратурой. В установку входят также рама, на которой смонтирован привод, подвижный стол, установленный на рельсовой тележке, бак для сбора охлаждающей воды. Установка позволяет производить закалку станин длиной до 6 м. В качестве источника ТВЧ используют машинный преобразователь ВПЧ-100/8000 мощностью 100 кВт и частотой 8000 Гц. Твердость закаленной станины после термообработки составляет 46–52 HRC<sub>3</sub>, глубина закаленного слоя — 1,5–3,5 мм.

Внедрена установка ТВЧ для термообработки звеньев цепи подвесных конвейеров. Подвесная цепь состоит из трех элементов: наружного звена, внутреннего звена и валика. Основные причины выхода подвесного конвейера из строя: разрыв внутреннего звена, приводящий к аварийной остановке конвейера, и износ валика в местах интенсивного трения, приводящий к нарушению шага и сбоям в работе конвейера. Внутреннее звено подвергают объемной закалке до максимальной твердости с последующим отпуском ТВЧ средней части, валик подвергается закалке ТВЧ вза-

(Окончание  
на стр. 12)

# Дуговая наплавка деталей металлургического оборудования

**В. И. Титаренко, ЧНПКФ «РЕММАШ» (Днепропетровск), А. А. Голякевич, Л. Н. Орлов,**  
**ООО «ТМ.ВЕЛТЕК» (Киев), Ю. М. Гитин, В. В. Мосыпан, ОАО «ДМК им. Дзержинского»**  
**(Днепродзержинск), М. А. Бабенко, А. Г. Горянай, КГМК «Криворожсталь» (Кривой Рог),**  
**Г. В. Хоменко, ОАО «Запорожсталь» (Запорожье)**

От надежности прокатных валков, износостойкости их рабочей поверхности, межремонтного срока службы зависят технико-экономические показатели работы прокатных цехов и в первую очередь производительность прокатных станов, качество готового проката. Рабочая поверхность валка подвергается циклическому механическому и тепловому воздействию. По мере эксплуатации на рабочую поверхность валков налипает металл, она неравномерно изнашивается и образуются трещины разгара. Для ремонта стальных валков применяют восстановительно-упрочняющую наплавку сплошной и порошковой проволокой, при этом один комплект валков восстанавливается в среднем от 5 до 10 раз.

Для наплавки валков горячей прокатки в ОАО «ДМКД» и на других комбинатах традиционно используют наплавочные проволоки Нп-30ХГСА, ПП-Нп-35В9Х3СФ, ПП-Нп-25Х5ФМС, ПП-Нп-30Х4В2М2ФС. Предприятия ООО «ТМ.ВЕЛТЕК» и ЧНПКФ «РЕММАШ» совместно с металлургическими комбинатами Украины (ОАО «ДМКД», ОАО «КГМК «Криворожсталь», ОАО «Запорожсталь») выполнили комплекс работ по совершенствованию наплавочных материалов, технологии и оборудования для наплавки прокатных валков с целью увеличения межремонтных периодов работы прокатных станов, повышения качества проката, сокращения трудоемкости наплавки.

Анализ литературных данных о работоспособности наплавленных прокатных валков показал, что возможности систем легирования C-Si-Mn-Cr-Mo-V и C-Si-Mn-Cr-W-V в полной мере не реализованы. В процессе работы валка под воздействием высоких температур наблюдается коагуляция и укрупнение карбидов по границам зерен, их последующее выкрашивание и развитие трещин разгара. Для снижения развития этих процессов было изменено структурное состояние зерен и их границ, повышенна дисперсность карбидов и равномерность их распределения в

теле зерна. Результаты исследований реализованы при выборе систем легирования новых порошковых проволок. Эти проволоки обеспечивают легкую отделимость шлаковой корки, высокую стойкость наплавленного металла против образования пор и трещин.

Для упрочняющего восстановления валков клети стана «500» железопрокатного цеха в ОАО «ДМКД» была применена порошковая проволока ВЕЛТЕК-Н500РМ. Технология восстановительно-упрочняющей наплавки заключалась в следующем. Изношенные калибры валков механически обрабатывали под наплавку на вальцетокарных станках с целью удаления металла, покрытого окалиной, наплывами и частично с сеткой трещин. Глубину расточки калибров при механической обработке выбирали с учетом подслоя толщиной 5–20 мм, выполненного проволокой Нп-30ХГСА, и упрочняющего слоя толщиной 6–10 мм, наплавленного проволокой ВЕЛТЕК-Н500РМ. В процессе подготовки валка под наплавку производили заварку глубоких разделок, образовавшихся в результате удаления радиальных трещин. Эту заварку, а также наплавку подслоя выполняли проволокой Нп-30ХГСА диаметром 5 мм под флюсом АН-348-А. Температуру предварительного подогрева валка поддерживали в переделах 300–350 °С. Наплавку упрочняющего слоя выполняли порошковой проволокой ВЕЛТЕК-Н500РМ диаметром 3,6 мм под флюсом АН-348-А на режиме  $I_{cb}=400...450$  А;  $U_d=30...32$  В. После наплавки рекомендовано замедленное охлаждение. Механическая обработка наплавленных калибров не вызвала особых затруднений. Увеличение трудоемкости механической обработки составляло 10–15%. Испытания упрочненных прокатных валков на стане «500» показали, что ресурс валков после упрочнения увеличился более чем в два раза.

Для упрочняющей наплавки вертикальных стенок калибров прокатных валков клети стана «900» ТЗС на ОАО «ДМКД» применяли проволоку ВЕЛТЕК-Н370РМ. Технология наплавки этих валков аналогична описанной технологии, исключен лишь предварительный подогрев. Достигнуто увеличение количества прокатываемого металла на одной паре валков от ремонта до ремонта с 18–20 до 45–50 тыс. т.

Валки горячей прокатки стана НЗС-730 цеха «Блюминг-1» ОАО КГМК «Криворожсталь», изготавливаемые из стали 50, до последнего времени упрочняли с использованием стандартной порошковой проволоки ПП-Нп-35В9Х3СФ. Однако в процессе прокатки на поверхности таких валков образовывались так называемые шипы высотой до 2 мм. Это приводило к необходимости остановки процесса прокатки и применения трудоемкой зачистки калибров. В противном случае валки с шипами наносили дефектный рисунок на поверхность прокатываемого металла. После прокатки 50–60 тыс. т металла на поверхности калибров образовалась выработка глубиной 2–3 мм, что вызвало необходимость замены валков. Глубина проникновения отдельных трещин после 50–60 тыс. т прокатанного металла достигла 30–40 мм. Для устранения перечисленных недостатков была применена технология наплавки порошковой проволокой ВЕЛТЕК-Н505РМ.

Технология упрочнения валков НЗС-730 с использованием порошковой проволоки ВЕЛТЕК-Н505РМ аналогична технологии наплавки проволокой ПП-Нп35В9Х3СФ. На первом этапе после механической обработки валок наплавляют до заданных геометрических размеров проволокой Нп-30ХГСА. Предварительный подогрев валка проводили в индукторе до температуры 400–450 °С. Упрочняющий слой наплавляли проволокой ВЕЛТЕК-Н505РМ диаметром 3,6 мм под флюсом АН-20С на режиме:  $I_{cb} = 430...450$  А,  $U_d = 30...32$  В,  $V_{cb} = 35...40$  м/ч. После наплавки выполняли повторный нагрев в индукторе до температуры 400–450 °С с последующим замедленным охлаждением в термостате. Достигнуто снижение образования шипов в два раза, и снижена склонность к образованию трещин в 2–3 раза, что позволило отремонтировать 80–90% валков по укороченной технологии, существенно снизить все виды затрат на 20% и увеличить межремонтные сроки работы станов.

На ОАО «Запорожсталь» вертикальными валками эджерной клети на непрерывном тонколистовом стане «1680» горячей прокатки производят боковое обжатие и выравнивание боковых кромок прокатываемого листа. В процессе эксплуатации цилиндрическая поверхность валков в месте контакта с торцом горячего листа подвергается интенсивному абразивному изнашиванию и значительным сжимающим нагрузкам. В результате на поверхности бочки валков у реборды образуется кольцевая выработка высотой до 100 мм, глубиной до 5 мм по диаметру. Это вызывает необходимость замены валков, так как дальнейшая эксплуатация может привести к неравномерности обжатия и скорости прокатки, что отрицательно повлияет на качество прокатываемого металла. Изучение характера и динамики изнашивания показали, что износ происходит в результате окисления и отрыва частичек окисленного металла с поверхности валков торцами горячего листа с температурой поверхности 1100–900 °С, частично покрытых тонким слоем окалины. При этом поверхность валков в месте контакта с прокатываемым листом разогревается до температуры 400–500 °С. Срок службы валков, упрочненных наплавкой порошковой проволокой ПП-Нп-35В9Х3СФ или ПП-Нп-25Х5ФМС, не более 3–4 месяцев, что не отвечает требованиям производства. Применение наплавки порошковой проволокой ВЕЛТЕК-Н550РМ позволило повысить износостойкость и срок службы валков в 2,5–3 раза.

Опытную наплавку валков эджера производили на наплавочной установке в ЦРПО ОАО «Запорожсталь». Перед наплавкой валок с изношенной поверхностью механически обрабатывали для удаления окисленного и изношенного металла на глубину, обеспечивающую наплавку подслоя проволокой Нп-30ХГСА и упрочняющего слоя толщиной 10 мм проволокой ВЕЛТЕК-Н550РМ. После наплавки подслоя валок нагревали до температуры 400–500 °С. Упрочняющую наплавку выполняли под флюсом АН-20С в 3–4 слоя на режиме:  $I_{cb} = 320...380$  А,  $U_d = 30...32$  В. В процессе наплавки температуру валка постоянно контролировали, не допуская ее снижения ниже 400 °С (при необходимости выполняли сопутствующий подогрев). После наплавки валок помещали в термостат.

Самозащитную порошковую проволоку ВЕЛТЕК-Н250РМ диаметром от 1,6 до



Рисунок.  
Керн клемцевого крана,  
наплавленный  
самозащитной  
порошковой  
проводкой  
ВЕЛТЕК-  
Н480С

3,0 мм успешно применяют при восстановлении подушек прокатных клетей и ножниц, шпинделей и муфт приводов прокатных валков, звездочек, втулок, валов, ступиц и др. По своим характеристикам она не уступает известной порошковой проволоке DUR 250-FD (Bohler).

Реализована наплавка кернов клемцевых кранов (*рисунок*) и губок стрипперного крана, которые в процессе эксплуатации испытывают ударные и сжимающие нагрузки в условиях высоких температур. Керны контактируют с металлом, разогретым до 800–1250 °C, подвергаются периодическому охлаждению в баках с водой. Для наплавки была применена самозащитная порошковая проволока ВЕЛТЕК-Н480С диаметром 2,0 мм с системой легирования (C–Cr–W–Mo–V–Ti), которая обеспечивает твердость наплавленного металла после наплавки 50–54 HRC<sub>3</sub>, при 600 °C горячую твердость 40–44 HRC<sub>3</sub> и стойкость к трещинообразованию (100 термоциклов до появления первой трещины). Замена при механизированной наплавке электродов Т-590, Т-620 указанной проволокой позволила повысить срок службы кернов в 4–5 раз и снизить затраты на ремонт. Задача восстановления кернов была решена в комплексе (технология–оборудование–материал).

При наплавке деталей, подвергающихся ударно-абразивному изнашиванию, порош-

ковой проволокой ПП-АН170 наблюдается повышенная склонность к трещинообразованию, сколам. Толщина наплавки не превышает 1–2 слоя, что в ряде случаев ограничивает ее применение. Для решения данной задачи применили самозащитные порошковые проволоки ВЕЛТЕК-Н600 (C–Cr–Mo–V–Nb–Ti–B), ВЕЛТЕК-Н620 (C–Cr–Mo–V–Ti–B), которые обеспечивают твердость наплавленного металла 55–63 HRC<sub>3</sub>. По сравнению с ПП-АН170 данные проволоки обеспечивают повышение износостойкости наплавленного металла на 30–50% при возможности выполнения 4–5 слоев. Проволоки выпускают диаметром от 2 до 5 мм. С применением механизированной и автоматизированной наплавки порошковой проволокой ВЕЛТЕК-Н600 диаметром 3,0 мм была восстановлена защитная поверхность большого конуса доменной печи, достигнуто значительное повышение износостойкости по сравнению с износостойкостью при применении электродов Т590, а также в два раза сокращено время ремонта. При автоматической наплавке малого конуса порошковой проволокой ВЕЛТЕК-Н620 диаметром 4,0 мм получена более высокая износостойкость по сравнению с наплавкой лентой ПЛ-АН101. Кроме этого, данные проволоки успешно применяют при упрочняющей наплавке зубьев ковшей экскаваторов, ножей бульдозеров, челюстей грейфера.

Новые порошковые проволоки изготавливают серийно соответственно ГОСТ 26101–84 и действующей нормативно-технической документации, продукция сертифицирована УкрСЕПРО. ООО «ТМ.ВЕЛТЕК» 12.04.2004 г. получен сертификат на систему управления качеством продукции согласно ДСТУ ISO 9001–2001. ● #591

## Технологии и оборудование для индукционной термообработки материалов и деталей на Минском автомобильном заводе

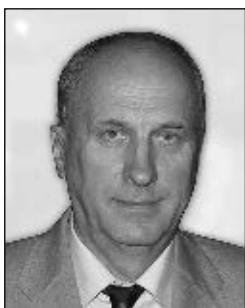
(Окончание.  
Начало  
на стр. 6–9)

мен объемной термообработки, что значительно повышает твердость поверхности, подверженной изнашиванию. Глубина закаленного ТВЧ слоя составляет 2–3,5 мм. Твердость поверхности более 52 HRC<sub>3</sub>. Срок службы цепей повышается в 2–5 раз.

**Индукционный нагрев сыпучих металлических частиц.** На МАЗе разработан метод термообработки сыпучих металличес-

ких материалов с применением индукционного нагрева в транспортирующей гладкостенной трубе со сплошным потоком движения частиц.

Вращающийся гладкостенный барабан нагревается до заданной температуры обработки металлических частиц электромагнитным полем высокой частоты. После этого частицы непрерывно загружают в гладкостенный барабан. Здесь частицы, непрерывно перемешиваясь, нагреваются до заданной температуры и одновременно перемещаются вдоль нагретого гладкостенного барабана в сторону выгрузки. ● #590



## Академику НАН Украины Леониду Михайловичу Лобанову — 65 лет

**29 сентября 2005 г. исполнилось 65 лет академику НАН Украины, профессору, доктору технических наук, заместителю директора и заведующему отделом Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины Леониду Михайловичу Лобанову.**

Академик НАН Украины Л. М. Лобанов — известный ученый в области материаловедения, технологий сварки и соединения материалов, сварных металлоконструкций, их прочности и эксплуатационной надежности. Вся его трудовая, творческая и научно-организационная деятельность неразрывно связана с Институтом электросварки и Патоновской научной школой в области сварки и сварных конструкций.

Основные направления научных исследований и инженерных разработок Л. М. Лобанова имеют широкий диапазон и ориентированы на решение актуальных проблем природы поведения материалов при сварке, на применение в производстве сварных конструкций новых материалов и прогрессивных технологий их сварки, на разработку оригинальных методов исследования и регулирования напряженно-деформированных состояний сварных соединений, на создание рациональных сварных конструкций новой техники, а также на разработку методов и средств их диагностики как основы оценки и продления эксплуатационного ресурса сварных конструкций и сооружений. Он является автором высокоеффективного голографического метода определения остаточных напряжений и создателем не имеющей аналогов в мировой практике специальной портативной голографической аппаратуры.

На основе трудов Л. М. Лобанова и его учеников сформулировано новое научное направление — бездеформационная сварка конструкций. Разработан также ряд конкретных технологий бездеформационной сварки стрингерных панелей и оболочек из высокопрочных алюминиевых сплавов, применяемых в производстве аэрокосмической техники.

Высокую оценку отечественных и зарубежных ученых и специалистов получили работы Л. М. Лобанова по повышению прочности, качества и точности изготовления сварных конструкций в аэрокосмической промышленности, судостроении, энергетическом машиностроении, строительстве. Под его руководством и при его участии в Институте электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины проводятся фундаментальные исследования в области статической и циклической прочности сварных соединений; создаются новые типы сварных конструкций, включая легкие строительные металлоконструкции, пролетные строения мостов, тяжелонагруженные конструкции из высокопрочных сталей, уникальные оболочечные конструкции преобразуемого объема, крупногабаритные антенны космической связи и др.

Под руководством Л. М. Лобанова выполняется комплекс работ по развитию методов неразрушающего контроля и технологий технической диагностики, по созданию научных подходов к оценке и продлению эксплуатационного ресурса, а также по формированию нормативно-технической документации и системы стандартов для проектирования и обеспечения высокой надежности и долговечности сварных конструкций и сооружений ответственного назначения.

Леонид Михайлович Лобанов активно сочетает исследовательскую работу с научно-организационной деятельностью: он научный руководитель ряда государственных и академических научно-технических программ; заместитель председателя Межгосударственного научно-технического совета по сварке и родственным технологиям, председатель секции Ученого совета и член Специализированного совета по защите диссертаций при Институте электросварки им. Е. О. Патона; член редколлегии журналов «Автоматическая сварка», «Техническая диагностика и неразрушающий контроль», «Космічна наука і технологія», «Физико-химическая механика материалов», председатель Экспертного научно-технического совета по проблемам сварки, диагностики и неразрушающего контроля в атомной энергетике Украины, член правления Украинского общества по неразрушающему контролю и технической диагностике. Будучи председателем Межгосударственного и Национального технических комитетов по стандартизации в области сварки и родственных технологий, он уделяет особое внимание формированию национальной базы стандартов и технических регламентов в области сварки, отвечающих европейскому и мировому уровню.

Весомый вклад Л. М. Лобанов внес в укрепление и развитие международного сотрудничества ИЭС им. Е. О. Патона с ведущими сварочными центрами, исследовательскими институтами, вузами и крупными фирмами-производителями сварочной техники и сварных конструкций, многих стран мира.

Академик Л. М. Лобанов — автор около 400 научных публикаций, в том числе 5 монографий, более 60 авторских свидетельств и патентов.

Л. М. Лобанов награжден орденами «Знак Почета» и «За заслуги» (III степени), удостоен почетного звания «Заслуженный деятель науки и техники Украины», является лауреатом премии СМ СССР и Государственной премии Украины, премий Е. О. Патона и Ю. Кондратюка.

**Общество сварщиков Украины, редколлегия и редакция журнала «Сварщик»  
сердечно поздравляют Леонида Михайловича с 65-летием.**

**Желаем здоровья и бодрости, творческой энергии и новых достижений  
в развитии отечественной сварочной науки и сварочного производства.**



**Если у Вас возникли вопросы по технологии сварки, организации рабочих мест сварщиков, правильному выбору сварочных материалов и оборудования, Вы можете отправить письмо в редакцию журнала по адресу: 03150 Киев, а/я 52 или позвонить по телефону (044) 495 2616. На Ваши вопросы ответит кандидат технических наук, Международный инженер-сварщик (IWE) Юрий Владимирович ДЕМЧЕНКО.**

**В каких случаях необходима термическая обработка после дуговой сварки аустенитной коррозионностойкой стали 12Х18Н10Т?**

**P. Тухбатуллин,**  
ЗАО НТК «Модульнефтегазкомплект» (Белебей, РФ)

Для большинства сварных соединений проводить послесварочную термическую обработку нецелесообразно. Она необходима только в тех случаях, когда в состоянии после сварки соединения проявляют склонность к межкристаллитной коррозии либо когда изделия предназначены для работы в условиях, вызывающих коррозионное растрескивание. Основной термической обработкой сварных соединений кор-

розионностойких сталей является закалка (нагрев до температуры 1050–1100 °C, выдержка 1–1,5 мин на 1 мм стали с последующим охлаждением в воде или на воздухе). При этом достигается получение однородного твердого раствора.

Стабилизирующий отжиг (нагрев до температуры 850–920 °C, выдержка 2–4 ч и последующее охлаждение на воздухе) проводят для предотвращения межкристаллитной коррозии в изделиях из стабилизованных сталей, эксплуатируемых при температуре выше 350 °C, либо в средах, вызывающих коррозионное растрескивание. В последнем случае применяют медленное охлаждение.

● #592

**Расскажите, пожалуйста, об особенностях дуговой сварки стали под водой (река, озеро) на глубине до 20 метров. Какие требования предъявляют к сварочным электродам, роду тока, источнику питания, технике, технологии сварки?**

**B. Цеханавичюс, Каунас (Литва)**

Для подводных работ наиболее эффективно использовать дуговую сварку плавящимся электродом. Дуга горит в газовом пузыре, который образуется в результате испарения и разложения воды. Устойчивое горение дуги под водой обеспечивает саморегулирование дуги и водонепроницаемое покрытие электродов. У сварочной дуги под водой напряжение на 6–7 В выше, чем на воздухе, этот избыток напряжения компенсирует охлаждающее действие воды.

При соблюдении несложных дополнительных условий дуга горит в воде вполне устойчиво при питании от обычных источников постоянного тока, применяемых для работ на воздухе. Для сварки под водой покрытым электродом применяют источники питания дуги с падающей внешней вольт-амперной характеристикой и повышенным напряжением холостого хода (70–90 В). В

зависимости от типа используемого электрода, диаметра и положения шва в пространстве режимы сварки под водой варьируют в широком диапазоне. Силу сварочного тока изменяют от 100 до 280 А; напряжение дуги зависит от ее длины, состава покрытия электрода и глубины проведения работ.

Для сварки под водой в ИЭС им. Е. О. Патона разработаны электроды марки ЭПС-АН1. Они обладают хорошими сварочно-технологическими свойствами и предназначены для сварки сталей с пределом текучести до 350 МПа под водой на глубине до 20 м. Хорошие результаты получены также при сварке электродами ЭПС-АН1 металлоконструкций по слою воды на свариваемых поверхностях. Для подводной сварки углеродистых и низколегированных сталей в С.-Петербургском государственном морском техническом университете совместно с АО «Электродный завод» разработаны электроды марки Э38-ЛКИ-1П. Для сравнения приведем механические свойства соединений, выполненных указанными электродами: для электрода ЭПС-АН1  $\sigma_b \geq 420$  МПа,  $\delta_5 \geq 14\%$ ; для Э38-ЛКИ-1П  $\sigma_b = 410$  МПа,  $\delta_5 \leq 8\%$ .

Под водой можно выполнять все обычные виды сварных соединений в любом пространственном положении. Стыковые однослойные швы в основном применяют при сварке под водой на неответственных конструкциях. Многослойныестыковые швы при сварке под водой предпочтительны, так как выполнение нескольких проходов обеспечивает последовательную термообработку предыдущих слоев. Получение стыкового соединения с полным проваром металла и качественным формированием обратного валика при сварке под водой затруднительно, так как жидкотекучесть металла сварочной ванны и шлака в этих условиях высока. Для предотвращения образования прожога необходимо устанавливать специальные прокладки. Толщина таких прокладок составляет 20–40% толщины свариваемого металла.

Перед началом работы изделия в местах сварки защищают от следов обрастания, гидроизоляции, лакокрасочных покрытий, нефтепродуктов и оксидов. Сборка под сварку под водой является трудоемкой и весьма ответственной операцией. При сборке необходимо выдержать зазор между соединенными деталями, установить их в заданном проектом положении и зафиксировать для предотвращения перемещений деталей при сварке. Для фиксации деталей применяют специальные струбцины, клинья и стяжные уголки, а для прижатия деталей — механические и гидравлические домкраты. После предварительной сборки конструкции взаимное расположение деталей перед сваркой фиксируют прихватками. Среднее сечение корневого шва при сварке в воде колеблется от 10 до 25 мм<sup>2</sup>. Дальнейшее заполнение разделки осуществляют слоями, сечение которых колеблется от 15 до 30 мм<sup>2</sup>. При сварке облицовочного (отжигающего) слоя сечение шва может быть увеличено.

Формирование корневого шва и заполнение разделки при сварке под водой осуществляют от начала до конца (напроход), когда длина шва не превышает 300 мм. В случае большой длины швы заваривают двумя участками для уменьшения сварочных деформаций и напряжений. Швы выполняют также обратноступенчатым способом или от середины к концам шва. Каждый участок (ступень) сваривают в направлении, обратном общему направлению сварки. При этом конец каждого последующего участка совпадает с началом предыдущего.

Как правило, корневой проход выполняют строго по оси шва без колебаний конца электрода. Второй слой проходят таким образом, чтобы частично переварить корневой шов. Для этого изменяют угол наклона электрода на 5–15°, выполняя сварку углом назад. Кроме изменения угла наклона электрода, увеличивают на 15–30% силу сварочного тока. При этом концу электрода сообщают колебательные движения в поперечном направлении на величину 1–3 мм от оси шва. После заполнения разделки накладывают облицовочный (отжигающий) шов. В зависимости от толщины металла и угла раскрытия кромок облицовочный шов выполняют одним или двумя проходами. Величина колебания конца электрода составляет 3–5 мм в каждую сторону от оси шва. В крайних точках перемещение электрода приостанавливают для получения более глубокого проплавления по краям.

Сварку вертикальных многопроходныхстыковых швов ведут на пониженных режимах. Силу тока в этом случае снижают на 15–20%, по сравнению с силой тока при сварке в нижнем положении. Сварку, как правило, выполняют снизу вверх.

Сварку в потолочном положении характеризует малый размер сварочной ванны. Силу сварочного тока снижают на 20–40% по отношению к силе тока при сварке в нижнем положении. Колебание конца электрода не превышает 1–2 мм от оси шва. Угол наклона электрода к плоскости сварки составляет 2–15°.

● #593

*Ответ подготовил  
канд. техн. наук В. Я. Кононенко*

ВНИМАНИЕ!

Продолжается  
подписка-2006  
на журнал «Сварщик».  
Подписной индекс 22405  
в каталогах «Укрпошта», «Пресса России».



# Размагничивание изделий перед сваркой

**A. A. Кайдалов,** д-р техн. наук, НТК «ИЭС им. Е. О. Патона» (Киев),

**В. А. Сокирко,** канд. техн. наук, ООО Научно-производственная компания «ДС» (Николаев)

Известно, что выполнение сварки или других родственных процессов на ферромагнитных материалах источниками нагрева с нескомпенсированным электрическим зарядом и постоянным магнитным полем (электронный и ионный пучки, электрическая дуга с постоянным электрическим током) всегда сопряжено с проблемой остаточного магнетизма изделий, сформированного перед началом технологического процесса либо возникающего во время его проведения.

Намагниченность является основной характеристикой изделия как источника собственных магнитных полей в окружающем его пространстве. Магнитное состояние ферромагнитных конструкций, деталей механизмов и изделия в целом формируется под влиянием сложных и многообразных операций, выполняемых при наличии внешних магнитных полей (магнитная предыстория). Существенное влияние оказывают такие технологические операции, как выплавка, прокатка стали, погрузочно-разгрузочные работы с помощью электромагнитных кранов, различные виды механической обработки, применение магнитных столов и магнитных зажимов, прихватка и сварка на больших токах, магнитопорошковая дефектоскопия, хранение изделий вблизи кабелей

с проходящим постоянным током, длительное воздействие внешних магнитных полей и др. (рис. 1). Реальные уровни индукции магнитных полей на поверхности изделий из сталей, склонных к намагничиванию, могут достигать значений 1–10 мТл.

Остаточная намагниченность изделий приводит к ряду негативных явлений:

- возникновению магнитного дутья при электродуговой сварке и наплавке на постоянном электрическом токе, что способствует повышению разбрзгивания жидкого металла из сварочной ванны и образованию различных дефектов сварного соединения, а также к непопаданию в свариваемый стык или в место наплавки;
- искривлению траектории электронного пучка при электронно-лучевой сварке и соответствующему непровару стыка по всей толщине;
- налипанию металлической стружки при штамповке или обработке деталей металорежущим инструментом, что ухудшает качество обработки и ускоряет изнашивание штампов и инструмента;
- электроэррозионному разрушению подшипников, муфт, уплотнений и других узлов турбоагрегатов при возникновении паразитных электрических токов от вращающихся намагниченных узлов.

Причиной наибольших дефектов является магнитное поле, действующее вдоль стыка при электронно-лучевой сварке и поперек стыка при электродуговой сварке. Экспериментально установлено, что допустимое значение поперечной (относительно кромок)  $B_y$  составляющей индукции магнитного поля на уровне 0,02 м от поверхности конструкции составляет менее 0,1 мТл при ручной дуговой сварке и менее 0,15 мТл – при автоматической под флюсом. Нестабильность электрической дуги и магнитное дутье возникают при индукции магнитного поля в стыке более 2–4 мТл. Первые признаки превышения допустимого магнитного поля проявляются в виде налипания на кромки мелких металлических предметов и стружки. Для электронно-лучевой сварки при ускоряющих напряже-

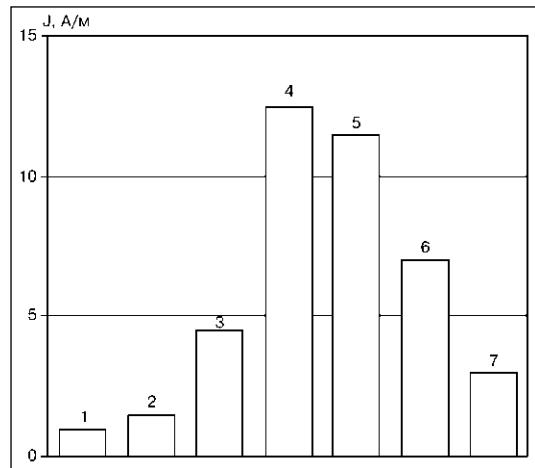


Рис. 1. Диаграмма влияния технологических операций на увеличение остаточной намагниченности  $J$  изделий из ферромагнитных материалов: 1 — хранение и транспортировка листовых заготовок; 2 — разделка кромок газорезкой; 3 — гибка заготовок; 4 — автоматическая электродуговая сварка; 5 — электрострочка; 6 — механическая обработка кромок; 7 — ручная электродуговая сварка

ниях до 60 кВ на расстояниях от электронной пушки до изделия 0,1–0,35 м допустимое значение продольной (относительно стыка)  $B_x$  составляющей индукции магнитного поля на уровне 5–10 мм от поверхности равно 30–50 мкТл.

Индукцию постоянного внешнего магнитного поля изделия предпочтительно измерять при помощи магнитометра с однокомпонентным ферромодуляционным датчиком (феррозондом), имеющим диапазоны 100 мкТл и 1 мТл. Конструкция датчика позволяет измерять любую составляющую магнитного поля, действующую вдоль оси феррозонда. Для измерения индукции магнитного поля в стыках применяют магнитометр с датчиком Холла, имеющий диапазоны 250 и 25 мТл.

Конструктивные методы снижения остаточного магнетизма предполагают замену в деталях сварочных головок ферромагнитных сталей на высококачественные маломагнитные материалы, но это повышает стоимость изделия. Технические меры предусматривают применение различных способов снижения внешних магнитных полей: компенсационных, экранирующих и размагничивание.

*Компенсацию* осуществляют с помощью компенсационных систем (постоянный магнит или обмотка), синтезирующих поле, суперпозиция которого с магнитным полем свариваемой конструкции минимизирует результирующее поле во всех точках внешнего пространства:

$$B(x_i) + B_k(x_i) + \Delta B(x_i) = 0, \quad (1)$$

где  $B(x_i)$  — внешнее магнитное поле свариваемой конструкции в точке наблюдения ( $x_i$ );  $B_k(x_i)$  — магнитное поле компенсационной системы;  $\Delta B(x_i)$  — погрешность компенсации.

Для компенсации магнитного поля при электродуговой сварке вдоль кромок устанавливают постоянные магниты (магнитные скобы), суммарная масса которых иногда соизмерима с массой свариваемого изделия. При сварке трубопроводов для получения результирующего магнитного поля, при котором не появляется магнитное дутье, вблизи стыка наматывают 3–5 витков сварочного кабеля, по которому пропускают ток. Процесс компенсации контролируют по показаниям датчика поля, установленного в стыке.

Компенсацию магнитного поля свариваемой конструкции при электронно-лучев-

вой сварке обычно осуществляют при помощи компенсационной обмотки, ток в которой автоматически регулируется по сигналу от магнитометрического датчика.

Для *экранирования* электронного пучка для уменьшения магнитного поля в месте сварки применяют структурные и магнитостатические экраны.

Структурные экраны, выравнивающие распределение магнитного поля над поверхностью изделия, представляют собой ферромагнитные массы или пластины различной формы (плоской, круглой и Г-образной). Их магнитные системы сложно настраивать при изменении формы свариваемого изделия.

Магнитостатические экраны (в виде трубы из магнитомягкого материала) предназначены для уменьшения магнитного поля в месте сварки за счет концентрации линий магнитной индукции в стенке экрана и их «разрежении» внутри экрана. Снижение индукции магнитного поля в полости экрана характеризует коэффициент экранирования

$$K_e = B_1/B_0 = 4r_2^2/\mu(r_2^2 - r_1^2), \quad (2)$$

где  $B_0$ ,  $B_1$  — соответственно индукция внешнего магнитного поля и поля внутри экрана, Тл;  $r_1$ ,  $r_2$  — внутренний и наружный радиусы трубы экрана, м;  $\mu$  — относительная магнитная проницаемость материала экрана ( $\mu \gg 1$ ). Для соотношения  $r_1/r_2 \leq 0,2$  при  $\mu = 500\ldots 5000$  коэффициент экранирования  $K_e = 10^{-2}\ldots 10^{-3}$ . Обычно экран длиной 0,1–0,15 м закрепляют на электронной пушке. Расстояние от него до поверхности изделия должно быть 10–30 мм. Магнитостатические экраны эффективны в стационарных полях или при перемещении электронной пушки с экраном вдоль силовых линий магнитного поля, однако при поперечном перемещении эффект экранирования исчезает. Кроме того, такие экраны затрудняют наблюдение за зоной сварки и препятствуют работе систем слежения за стыком.

При сварке тонколистовых материалов уход электронного пучка от стыка удается компенсировать с помощью *отклоняющей системы* электронной пушки при условии однородного распределения намагниченности вдоль стыка. Но при электронно-лучевой сварке сталей большой толщины это недостижимо.

*Размагничивание* является наиболее действенным средством снижения остаточ-

ного магнитного поля, так как при этом устраняется его источник — остаточная намагниченность свариваемой конструкции. Операцию размагничивания следует выполнять после сборки стыкового соединения непосредственно перед загрузкой изделия в вакуумную камеру или подачей в зону сварки/наплавки. Существуют следующие способы размагничивания:

- **термическое**, при котором материалы нагревают до температуры материала выше точки Кюри и охлаждают до температуры окружающей среды при отсутствии внешнего магнитного поля и механических воздействий. Температура Кюри (993 К для сталей) является точкой фазового перехода второго рода. При этой температуре доменная структура ферромагнетика разрушается (имеет место переход в парамагнитное состояние), а при остывании — формируется новая структура. Применение способа ограничено, так как это часто труднодостижимо или недопустимо по технологическим причинам (большие размеры свариваемой конструкции, термоупрочненные стали и др.), его используют в некоторых случаях для устранения магнитного дутья при электродуговой сварке;

- **статическое**, выполняемое при помощи внешнего равномерно меняющегося магнитного поля, которое создает такую намагниченность материала, что при удалении внешнего магнитного поля она исчезает. Магнитный материал перемагничивается по гистерезисным кривым намагничивания. Способ применяют для общего размагничивания изделия, используя стационарные соленоиды или временные обмотки. Статическое размагничивание свариваемой конструкции обеспечивается только для направления действия внешнего магнитного поля, а для любого другого направления обработку необходимо повторять. Выбор параметров, при которых достигается необходимый уровень размагничивания свариваемой конструкции и уменьшается взаимное влияние обработок для различных направлений, требует специальной подготовки оператора и определенных практических навыков. Сложность приведения магнитного состояния в условие  $J=0$  часто не дает требуемых результатов;

- **динамическое**, которое выполняют при помощи внешнего знакопеременного магнитного поля. Амплитуда поля уменьшается от значения, соответствующего намагниченности технического насыщения, до нуля.

Материал перемагничивается по безгистерезисной кривой намагничивания, в нем происходит разрушение магнитной предыстории. Способ получил наибольшее распространение, так как стабильность динамического размагничивания значительно выше, чем термического и статического. Под стабильностью магнитного состояния конструкции понимают его неизменность во времени после размагничивания, а также по отношению к последующим механическим напряжениям или ударам.

Магнитодинамические процессы, связанные с завершением всех необратимых процессов смещения и вращения междоменных границ при размагничивании изделий, обеспечивают за счет энергии электромагнитного поля соленоида или специальной рабочей обмотки. В зависимости от метода генерирования внешнего поля способы динамического размагничивания можно условно разбить на подгруппы:

- неподвижное изделие помещают в стационарный соленоид или временную обмотку с током, регулируемым по заданной программе;
- изделие перемещают относительно неподвижного контура с переменным током постоянной амплитуды и инфразвуковой частоты, а затухание внешнего поля достигают удалением изделия от контура;
- через изделие пропускают электрический ток, изменяющийся по определенному закону.

Способы общего размагничивания, в которых используют соленоиды или рабочие контуры, особенно чувствительны к точности поддержания параметров обработки. Даже незначительное отклонение параметра от оптимального значения приводит к формированию остаточной намагниченности изделия, превышающей исходную в несколько раз. Качество размагничивания определяют следующие параметры обработки:

1. Начальная амплитуда внешнего магнитного поля для безгистерезисного размагничивания свариваемой конструкции из ферромагнитного материала:

$$H_{-m} = k H_c (1 + \mu_{max} N), \quad (3)$$

где  $H_{-m}$  — напряженность внешнего магнитного поля, А/м;  $k$  — коэффициент, равный 1,4–1,7;  $\mu_{max}$  — максимальная относительная магнитная проницаемость материала;  $H_c$  — коэрцитивная сила материала, А/м;  $N$  — коэффициент размагничивания, зависящий от формы конструкции.

Намагничающую силу, необходимую для создания рабочего поля (3) в соленоиде, определяют, пользуясь соотношением

$$IW = kH_c(1 + \mu_{\max}N)L, \quad (4)$$

где  $IW$  — число ампер-витков обмотки соленоида,  $L$  — длина соленоида, м.

Снижение  $IW$  возможно при уменьшении коэффициента размагничивания  $N$ . Для этого изделие в соленоиде устанавливают так, чтобы внешнее магнитное поле действовало в направлении наибольшей протяженности конструкции, где коэффициент  $N$  имеет наименьшее значение. При отсутствии явно выраженного направления легкого намагничивания, например, для конструкций типа полых оболочек, размагничивание повторяют несколько раз при различных положениях изделия в соленоиде.

Для замкнутой магнитной цепи коэффициент размагничивания  $N=0$  (по аналогии с тороидом) и значение  $Iw$  снижается в  $(1 + \mu_{\max}N)$  раз. Указанный принцип используют в ряде устройств, когда размагничиваемая деталь является замыкающей частью единого магнитопровода (П-образного, Ш-образного) со стационарной рабочей обмоткой.

2. Частота реверсирования рабочего поля  $f_p$ , определяемая свойствами ферромагнетиков в переменных магнитных полях, — вихревые токи создают встречное поле и перемагничивание происходит в поверхностном слое (магнитный поверхностный эффект). Критическая частота, выше которой магнитная индукция не успевает проникнуть в глубь материала

$$\begin{aligned} f_{kp} &= (\pi \gamma \mu_0 \mu d^2)^{-1} \text{ или} \\ f_{kp} &= 9(4\pi^2 \gamma \mu_0 \mu d^2)^{-1}, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $\gamma$  — удельная проводимость стали, Ом/м;  $\mu_0$  — магнитная проницаемость вакуума, Гн/м;  $\mu$  — относительная магнитная проницаемость стали;  $d$  — толщина материала, м. Для сталей толщиной 1 см ( $\mu = 200$ ,  $\gamma = 8 \cdot 10^6$  Ом/м) критическая частота  $f_{kp} \approx 1$  Гц, а при  $f_p = 50$  Гц размагничивается только поверхностный слой толщиной примерно 1,5 мм. У толстостенной свариваемой конструкции при  $f_p > f_{kp}$  поверхностный слой экранирует внутренние области от перемагничивания. Происходит квазиразмагничивание, при котором внешнее магнитное поле свариваемого изделия уменьшается, а остаточная намагниченность внутренних областей ферромагнетика сохраняется. Нагрев, механические на-

пржения, возникающие при сварке или эксплуатации изделия, разрушают экранирующую способность слоя, и «внутренняя» остаточная намагниченность проявляется в виде магнитного поля со всеми негативными последствиями. Поэтому применение промышленной частоты  $f_p = 50$  Гц для размагничивания изделий толщиной более 3 мм недопустимо. Длительность импульса рабочего поля  $T_i = (2f_p)^{-1}$  определяет частота при соблюдении условия  $f_p < f_{kp}$ .

3. Декремент затухания внешнего магнитного поля — отношение соседних амплитуд одной полярности  $\delta_3 = H_{-n}/H_{-n+2}$  или соседних амплитуд  $\delta'_3 = H_{-n}/H_{-n+1}$ , при этом  $\delta_3 = \delta'^2_3$ , а амплитуда поля убывает по экспоненте.

4. Число импульсов внешнего поля, которое зависит от декремента затухания и определяется по формуле

$$n = [1 + \ln(H_{-max}/H_{-min})] / \ln \delta'_3, \quad (6)$$

где  $H_{-max}$ ,  $H_{-min}$  — соответственно максимальная и минимальная напряженности поля в ферромагнетике. Для конструкционных сталей 09Г2, Ст3сп2, 10ХСНД, 33ХН3МА значение  $H_{-min}$  составляет 0,3% от  $H_{-max}$ , а значение поля  $H_{-max} = 10H_c$ . Для повышения качества размагничивания принимают  $1,05 \leq \delta_3 \leq 1,15$ , поэтому число импульсов достигает 100 и более, что увеличивает продолжительность размагничивания.

*Локальное размагничивание* обычно применяют при электродуговой сварке для тех участков свариваемой крупногабаритной конструкции, где возникает магнитное дутье. Локальные внешние магнитные поля создают витки сварочного кабеля с током или катушки с сердечником, которые подключают к источнику переменного тока. Затухание знакопеременного внешнего магнитного поля достигается удалением катушки (по спирали) с места размагничивания. Направление действия внешнего магнитного поля при локальном размагничивании чаще всего перпендикулярно к плоскости свариваемой конструкции (коэффициент размагничивания  $N$  имеет наибольшее значение). Поэтому доля внешнего магнитного поля, проникающего в материал, сильно снижается, что уменьшает эффективность размагничивания, не позволяет снизить остаточную намагниченность до необходимого уровня и делает невозможным размагничивание свариваемых конструкций из высококоэрцитивных сталей ( $H_c > 1$  кА/м).

По сравнению с локальным размагничиванием общее размагничивание изделий под сварку более эффективно. Однако при размагничивании свариваемых крупногабаритных конструкций возникают проблемы, связанные с созданием громоздких и дорогостоящих размагничивающих стендов (соленоидов), когда существующие производственные площади ограничены.

Научно-производственной компанией «ДС» (Николаев) разработана технология и специализированное оборудование для размагничивания путем пропускания через изделие электрического тока, изменяющегося по заданному закону. Технология размагничивания позволяет быстро и качественно устраниТЬ остаточную намагниченность изделий без применения традиционного соленоида и рабочей обмотки.

Рассмотрим физический механизм размагничивания пропусканием через ферромагнитный материал импульсов электрического тока, изменяющихся по определенному закону. Протекание электрического тока сопровождает возникновение вихря магнитного поля в соответствии с уравнением Максвелла

$$\operatorname{rot} H = j + (v\nabla)E, \quad (7)$$

где  $j$  — плотность тока проводимости;  $(v\nabla)E$  — конвективная производная (плотность тока смещения);  $v$  — скорость движения



Рис. 2.  
Внешний вид  
размагничивающего  
устройства  
DS10M

зарядов;  $E$  — напряженность электрического поля. Магнитный поток замыкается в толще ферромагнетика, поэтому для направления действия внешнего поля (циркулярного) коэффициент размагничивания  $N$  равен нулю, чем и объясняется высокая эффективность данной технологии. При размагничивании в соленоиде коэффициент  $N$  в формуле (3) учитывает конечностю размеров конструкции, что обуславливает замыкание внешнего магнитного потока через воздушное пространство с большим магнитным сопротивлением.

На основании статистической теории гистерезисных процессов доказано, что протекание электрического тока обеспечивает безгистерезисное размагничивание свариваемой конструкции в соответствии с уравнением перемагничивания

$$(k_\sigma h_{kp,i} H_{\Pi}) = H_0 \pm m_\sigma h_{cm,i}, \quad (8)$$

где  $h_{kp,i}$  — критическое поле или внешнее поле  $i$ -го домена, необходимое для необратимого смещения границ домена;  $k_\sigma$  — коэффициент, характеризующий уровень упругих механических напряжений и уменьшение критических полей;  $H_{\Pi}$  — рабочее поле в ферромагнетике;  $H_0$  — внешнее постоянное (формирующее) магнитное поле;  $h_{cm,i}$  — поле смещения или внутреннее поле на границе  $i$ -го домена в отсутствии внешнего магнитного поля;  $m_\sigma$  — коэффициент, учитывающий изменение полей смещения при механическом растяжении ( $m_\sigma < 1$ ) или сжатии ( $m_\sigma > 1$ ).

Начальная амплитуда электрического тока, обеспечивающего внешнее поле  $H_{\Pi}$  для общего размагничивания изделия,

$$I_{-m} = k_m H_c P, \quad (9)$$

где  $k_m$  — коэффициент, равный 3–5 в зависимости от магнитных характеристик стали;  $P$  — периметр поперечного сечения изделия, перпендикулярного к оси протекания рабочего тока между точками подключения, м.

Поток энергии, который вносится в объем материала изделия, зависит от плотности электрического тока. Исследования показали, что неравномерность распределения плотности тока возрастает по мере увеличения размеров изделия и имеет максимум вблизи оси протекания электрического тока между точками закрепления зажимов. При параллельном подключении нескольких зажимов равномерность распределения плотности тока увеличивается. Ва-

рируя положением точек закрепления, можно изменять плотность тока в локальном пространстве между зажимами и управлять уровнем воздействия внешнего магнитного поля в заданном объеме ферромагнитной конструкции. Указанный принцип является основополагающим для локального размагничивания крупногабаритного изделия, когда достаточно снизить уровень внешних полей только в определенной зоне.

Для промышленных нужд (размагничивание конструкций для электродуговой и электронно-лучевой сварки, устранение электроэррозионных разрушений и др.) создано размагничивающее устройство DS10M с рабочим током до 10 кА. Устройство позволяет в автоматическом режиме управления выполнять общее размагничивание изделий с периметром поперечного сечения до 10 м и длиной до 25 м, изготовленных из конструкционных ферромагнитных сталей с  $H_c = 0,5 \dots 1,5$  А/м. Достигается снижение магнитных полей на поверхности конструкций до 0,02–0,05 мТл. При локальном размагничивании габариты размагничиваемых конструкций не ограничиваются.

<b>Техническая характеристика</b>
<b>размагничивающего устройства DS10M:</b>
<i>Диапазон изменения амплитуды однополярных импульсов</i>
тока, кА ..... 0,1–10,0
<i>Напряжение рабочего тока, В,</i>
не более..... 30
<i>Автоматическое управление режимом,</i>
число режимов ..... 8
<i>Точность поддержания заданного</i>
значения тока, % ..... 3–5
<i>Длительность цикла</i>
размагничивания, мин ..... 3,5–5
<i>Потребляемая мощность максимального однополярного импульса тока, кВ·А</i> ... 270
<i>Потребляемая электроэнергия</i>
за цикл, кВт·ч ..... 3,5
<i>Напряжение питающей трехфазной</i>
сети частотой 50 Гц, В ..... 380±20
<i>Габаритные размеры, м</i> ..... 1,9×1,2×0,9
<i>Масса (без кабеля), кг</i> ..... 960

Конструктивно устройство DS10M выполнено в виде шкафа (рис. 2), внутри которого размещены источник электрического тока и система автоматического управления процессом размагничивания, а на передней дверце установлена панель управления и индикации. Объект размагничивания подключают к установке при помощи



Рис. 3. Размагничивание ротора газовой турбины под электронно-лучевую сварку на НПКГ «Зоря»—«Машпроект»: а — подключение токоведущих кабелей к ротору; б — общий вид участка размагничивания

гибкого кабеля, снабженного четырьмя парами зажимов. Положение точек подключения зажимов, режимы размагничивания оптимизированы для типовых изделий и представлены в технологической инструкции. Применение устройства DS10M наиболее эффективно для локального размагничивания (рис. 3) крупногабаритных металлоконструкций, машин и механизмов в сборе (например, трубопроводов, корпусных секций на стапеле, турбоагрегатов, технологических линий и т. п.), когда использование специальных стендов и соленоидов невозможно.

Размагничивающее устройство DS10M (ТУ У 31.6–30976520–001–2001) сертифицировано в системе УкрСЕПРО, согласовано с Госнадзором по промышленности Украины. • #594

# Плазменно-электролитная полировка металлов

**С. В. Ващенко, В. Л. Ермаков, А. Я. Каменев, Л. А. Климова, Э. П. Кревсун,**

Объединенный институт энергетических и ядерных исследований — «Сосны»

Национальной академии наук Беларусь (Минск)

Плазменно-электролитный способ полировки электропроводных материалов является альтернативным по отношению к традиционному электрохимическому способу. Электрохимическая полировка предполагает использование различных кислот высокой концентрации, поэтому не является экологически безопасной. В противоположность этому плазменно-электролитная полировка (ПЭП) — экологически чистый процесс, поскольку в качестве электролитов используют водные растворы солей низкой концентрации (3–6%).

Преимуществом ПЭП является также высокая производительность, так как скорость съема металла с поверхности обрабатываемой детали в 3–4 раза выше по сравнению со скоростью при электрохимическом полировании. Например, деталь из стали X18H10T, подвергнутая плазменно-электролитной полировке, приобретает почти зеркальный блеск уже через 1,5–2 мин, а из латуни или алюминия — через 30 с.

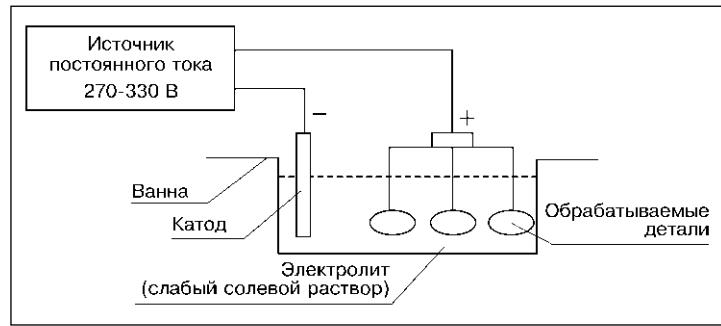
Кратко схему процесса плазменно-электролитной полировки можно описать следующим образом. После превышения некоторых критических значений плотности тока и напряжения вокруг металлического обрабатываемого изделия (анода) образуется облако плазмы, оттесняющее электролит от поверхности анода, и вблизи обрабатываемой детали (*рис. 1*) возникает многофазная система «металл—плазма—газ—электролит», в которой носителями зарядов служат не только ионы, но и электроны. На поверхности погруженной в ванну детали образуется парогазовая оболочка

толщиной 50–100 мкм, которая пульсирует с большой частотой. Спонтанные электрические разряды разрушают выступы микронеровностей поверхности, и микрочастицы металла в виде гидрооксидов уносятся в электролит. Пульсация парогазовой оболочки приводит к тому, что на локальные зоны обрабатываемой поверхности поочередно воздействуют плазма и электролит. В результате этого происходит съем металла и сглаживание микрорельефа поверхности. Совместное воздействие на поверхность детали химически активной среды и электрических разрядов создает эффект полировки изделий. Для практического использования этот способ очень простой и надежный.

В ГНУ «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований — «Сосны» Национальной академии наук Беларусь в течение ряда лет ведут работы по исследованию плазменно-электролитной полировки и ее внедрению на различных предприятиях Беларусь, России, Украины. Нестационарность и сложность протекающих электрофизических и химических процессов пока не позволили построить математическую модель, адекватно описывающую процесс полировки с необходимой точностью. Опытным путем установлено, что на основные характеристики процесса — скорость съема металла и чистоту поверхности — оказывают влияние в основном следующие факторы: напряжение, химический состав электролита, его температура, вязкость, электропроводность, время выдержки а также свойства обрабатываемого материала (исходная шероховатость поверхности, химический состав, структура, теплопроводность, электропроводность и др.).

При разработке технологии полировки того или иного материала наиболее трудной задачей является определение оптимального состава электролита. Опыт свидетельствует, что для каждого материала должен быть найден свой состав базового элек-

Рис. 1.  
Схема  
устройства  
для  
плазменно-  
электролитной  
полировки



тролита. Например, электролит для полировки нержавеющих сталей содержит сульфат аммония. Для полировки углеродистой стали используют хлорид аммония с добавкой многоатомных спиртов, для полировки меди — смесь трилона Б, лимонной кислоты и сульфата аммония, для полировки алюминия — хлористые соли щелочных металлов, соляную кислоту и некоторые органические добавки. Чтобы иметь возможность варьировать параметрами микрорельефа обрабатываемой поверхности, базовый электролит модифицируют соответствующими добавками, а также устанавливают необходимые значения температуры электролита и оптимальное время выдержки.

Следует отметить, что плазменно-электролитную полировку выполняют в водных растворах недефицитных, экологически безопасных солей при концентрации активного вещества не выше 5%.

По результатам исследований разработали технологии полировки для значительного круга материалов, в том числе нержавеющих и низколегированных углеродистых сталей, цветных металлов и их сплавов (меди, латунь, бронза, мельхиор), алюминия и его сплавов, титана и его сплавов.

Процесс полировки связан со съемом металла, который происходит со скоростью примерно 2 мкм/мин. На длительность процесса заметное влияние оказывает исходная чистота поверхности. Глубокие царапины выводятся значительно труднее, чем выступы (заусенцы). Поэтому желательно, чтобы исходная поверхность не имела глубоких царапин, а средняя высота Ra выступов шероховатости не превышала 2 мкм. Грубый макрорельеф поверхности не препятствует полировке.

Для полировки изделий различного назначения, формы и габаритов был разработан ряд установок различной мощности и производительности. Общий вид установки ПЭП для полировки малогабаритных изделий приведен на рис. 2.

Некоторые установки поставлены предприятиям Беларуси, России и Украины.

Производительность и экономическая эффективность технологических операций, выполняемых на установках ПЭП, в 5–6 раз выше аналогичных, осуществляемых механическим способом, и в 3–4 раза выше, чем при электрохимическом способе обработки на основе кислотных растворов. Кроме того, установки ПЭП обеспечивают практически полную экологическую безо-



пасность процесса полировки, просты в эксплуатации и при обслуживании, к помещениям для их размещения не предъявляют жестких требований. Удаление шлама из электролита не представляет особых сложностей, поэтому электролит может служить длительное время без замены.

На установках ПЭП при финишной полировке металлов достигается шероховатость  $R_a=0,04$  мкм, происходит зачистка заусенцев толщиной до 0,3 мм и притупление острых кромок. Полировка может быть использована также для очистки металлических деталей от окалины, ржавчины, остатков краски.

● #595

Рис. 2.  
Установка  
ЭИП-1 для  
полировки  
малогабарит-  
ных деталей

### Финансово-промышленный холдинг

**ПРИГЛАШАЕТ**

### **ДИРЕКТОРА ЗАВОДА**

*Руководство проектом по производству уникального в РФ оборудования нового поколения на базе завода транспортного машиностроения. Руководство производственным комплексом. Активное участие в разработке производственной политики. Условия вознаграждения обсуждаются индивидуально.*

**Тел. +7 (343) 212-99-84, -85, -86.**

KamenskayaAN@sinara-group.com

# Новый комплекс оборудования для плазменно-дуговой сварки алюминиевых сплавов

*А. А. Гринюк, А. Г. Покляцкий, кандидаты техн. наук, ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины*

В последние годы при производстве конструкций из алюминиевых сплавов начали широко применять источники нагрева с высокой концентрацией энергии (при электронно-лучевой, лазерной и плазменно-дуговой сварке). Лазер и электронный луч имеют наиболее высокую степень концентрации энергии, однако стоимость оборудования и требования к подготовке поверхности кромок при этих способах сварки значительно выше, чем при сварке сжатой дугой.

Плазменно-дуговая сварка является усовершенствованным способом аргонодуговой сварки неплавящимся электродом. Сжатая плазменная дуга отличается более высокой скоростью плазменного потока, чем свободно расширяющаяся при одинаковых значениях сварочного тока.

По сравнению со сваркой сталей, где используют постоянный ток прямой полярности, при сварке алюминиевых сплавов для разрушения оксидной пленки необходимо использование постоянного тока обратной полярности или разнополярного тока. Наиболее перспективным является разнополярный асимметричный ток с прямоугольной формой волны. Серийно выпускаемое корпорацией «Либурди» (Канада) оборудование для этого процесса дорогостоящее и сложное в эксплуатации. Основными потребителями этого оборудования были крупнейшие производители аэрокосмической техники — фирмы «Boинг», «Макдональд-Дуглас», «Мартин-Локхид». Поэтому способ сварки разнополярным асимметричным током применяли преимущественно при изготовлении топливных баков из алюминиевых сплавов для американского космического челнока «Шаттл».

Попытки упростить оборудование и снизить его стоимость с целью более широкого внедрения в производство способа сварки сжатой дугой алюминиевых сплавов предпринимали в конце 1990-х гг. различные фирмы, в том числе фирма ESAB. Установка включала универсальный источник питания разнополярного тока с прямоугольной формой волны и плазменный модуль, выполняющий функции блока дежурной дуги и блока регулировки подачи защитного и плазмообразующего газов. Несмотря на простоту исполнения и относительно невысокую стоимость, это оборудование не получило широкого применения и вскоре было снято с производства.

В конце 1980-х — начале 1990-х гг. в отделье физико-металлургических процессов



Рис. 1.  
Установка  
PT450AC/DC  
для  
плазменно-  
дуговой  
сварки разно-  
полярным  
асимметрич-  
ным током  
фирмы  
«Фрониус»  
(Австрия)

сварки легких металлов и сплавов ИЭС им. Е. О. Патона были выполнены предварительные исследования процесса плазменно-дуговой сварки высокопрочных алюминиевых сплавов разнополярным асимметричным током с прямоугольной формой волны. Использовали источники питания на основе индуктивных накопителей энергии с тиристорным управлением. На основании полученных результатов были сформулированы основные требования к плазменно-дуговому оборудованию и создано техническое задание на разработку инверторного источника питания для сварки сжатой дугой.

В 2001 г. фирма «Фрониус» изготавлила комплекс оборудования для автоматической плазменно-дуговой сварки разнополярным асимметричным током алюминиевых сплавов, согласно требованиям и техническому заданию, сформулированным и разработанным в ИЭС им. Е. О. Патона. Комплекс оборудования включает установку PT450AC/DC, плазмотрон PMW 350, механизм KD 4000 подачи присадочной проволоки и систему FPA 2003–Plasma управления процессом сварки.

**Установка PT450AC/DC** состоит из источника питания MW 450 для сварки неплавящимся электродом и плазменного модуля FPM (*рис. 1*). Она смонтирована на тележке, имеет небольшие габаритные размеры и массу, довольно мобильная. Есть автономный блок охлаждения с встроенным датчиком, который отключает источник питания при недостаточном количестве хладагента в системе. Система охлаждения имеет замкнутый цикл.

Установка обеспечивает сварку постоянным током прямой полярности и разнополярным током с регулируемыми частотой в пределах 40–250 Гц и амплитудой в пределах 10–450 А. Для обеспечения качественного формирования сварного соединения предусмотрена возможность изменения времени нарастания и спада силы сварочного тока, которое выставляют независимо друг от друга с помощью потенциометров. Значения начальной силы тока и силы тока заварки кратера устанавливают в процентах от силы рабочего тока. Сварочный ток задается регулятором при невозбужденной дуге. Установочное значение силы тока и ее текущее значение в процессе сварки отображаются на цифровом табло. Стабилизация силы тока обеспечивается в пределах ±1 А. Специальный блок в источнике питания позволяет осуществлять

сварку сжатой дугой модулированным током с частотой модуляции до 2000 Гц.

Изменяя с помощью регулятора баланса соотношения длительностей прохождения токов при прямой и обратной полярностях, регулируют эффективность катодного разрушения оксидной пленки и тепловую нагрузку на электрод плазмотрона. Соотношение между длительностью протекания тока при прямой и обратной полярностях сохраняется постоянным при изменении частоты сварочного тока.

Для возбуждения сжатой дуги используют дежурную дугу постоянного тока при прямой полярности. Она питается от плазменного модуля FPM. Силу тока дежурной дуги можно регулировать в зависимости от типа используемого плазмотрона.

Значение расхода плазмообразующего газа выставляют на плазменном модуле FPM при помощи регулятора с точностью 0,1 л/мин. Электромагнитный клапан поддерживает это значение в процессе сварки неизменным. Расход защитного газа задают с помощью редуктора на баллоне.

Для возможности управления источником питания и использования его в автоматизированных и роботизированных комплексах встроен специальный интерфейс. С помощью этого интерфейса через систему управления можно регулировать основные параметры сварки: силу рабочего тока, начального тока, время нарастания силы тока от начального к рабочему, силу тока заварки кратера, время спада силы тока, частоту сварочного тока и частоту модуляции при импульсном режиме сварки.

#### **Техническая характеристика установки PT450AC/DC:**

*Напряжение трехфазного переменного тока частотой 50 Гц, В . . . . .* 380

*Потребляемая мощность, кВ·А, не более . . . . .* 24

*Потребляемая сила тока, А, не более . . . . .* 35

*Режимы работы источника питания . . . . .* Plasma AC/DC, TIG AC/DC

*Диапазон регулирования силы сварочного тока, А, в режиме:*

*Plasma AC . . . . .* 10–450

*Plasma DC . . . . .* 5–450

*TIG AC . . . . .* 10–450

*TIG DC . . . . .* 5–450

*Диапазон регулирования длительности тока при прямой полярности, % . . . . .* 15–85

*Номинальная сила тока, А:*

*при ПВ 60% . . . . .* 450

*при ПВ 100% . . . . .* 360

<i>Напряжение холостого хода источника питания, В . . . . .</i>	70
<i>Рабочее напряжение источника питания в режиме Plasma AC, В . . . . .</i>	0–53
<i>Частота сварочного тока, Гц . . . . .</i>	40–250
<i>Время нарастания силы тока от начального к рабочему значению, с . . . . .</i>	0–7
<i>Время спада силы тока от рабочего до силы тока заварки кратера, с . . . . .</i>	0–7
<i>Время действия силы тока заварки кратера, с . . . . .</i>	0–8
<i>Диапазон регулирования силы начального тока, % от силы рабочего тока . . . . .</i>	0–100
<i>Диапазон регулирования силы тока заварки кратера, % от силы рабочего тока . . . . .</i>	0–100
<i>Расход плазмообразующего газа, л/мин . . . . .</i>	0,1–10
<i>Время продувки, с:</i>	
<i>плазмообразующим газом</i>	
<i>перед сваркой . . . . .</i>	0–3
<i>защитным газом перед сваркой . . . . .</i>	0–99
<i>плазмообразующим газом</i>	
<i>после сварки . . . . .</i>	0–15
<i>защитным газом после сварки . . . . .</i>	0–99
<i>Диапазон регулирования частоты модулированного тока, Гц . . . . .</i>	0,25–2000
<i>Диапазон регулирования силы тока дежурной дуги, А . . . . .</i>	5–50

**Плазмotron PMW 350** предназначен для автоматической плазменно-дуговой сварки разнополярным током и обеспечивает устойчивое формирование плазменной струи в диапазоне силы тока от 10 до 350 А. Одной из наиболее подверженных тепловому воздействию деталей является электродный узел. С целью предотвращения перегрева и разрушения электрода и плазмообразующего сопла предусмотрено водяное охлаждение этого узла от автономного блока охлаждения. В качестве электрода используют вольфрамовый пруток диаметром 4 мм и максимальной длиной 130 мм. Оптимальная заточка электрода — конус с углом 60° в вершине. Точную фиксацию электрода относительно оси отверстия плазмообразующего сопла выполняют при помощи центрирующей керамической втулки.

Для формирования плазменной струи используют сменные сопла с диаметром плазмообразующего отверстия 2,0; 2,8; 3,2; 3,5 и 4 мм соответственно на максимально допустимую силу тока 100; 180; 240; 280 и 350 А. Диаметр отверстия плазмообразующего сопла для каждого значения силы тока выбирают минимальным с учетом предотвращения образования двойной дуги и обеспечения эффективного воздействия

плазменной струи на свариваемый металл. В качестве материала сопла выбрана медь, которая имеет высокую теплопроводность и хорошо обрабатывается. С целью повышения стабильности формирования плазменной струи в конструкции плазмообразующего сопла предусмотрены два отверстия малого диаметра.

#### **Техническая характеристика плазмotronа PMW 350:**

<i>Максимально допустимая сила тока при ПВ 100%, А . . . . .</i>	350
<i>Диаметр вольфрамового электрода, мм . . . . .</i>	4,0
<i>Расход охлаждающей жидкости, л/мин . . . . .</i>	6
<i>Плазмообразующий газ . . . . .</i>	Ar
<i>Защитный газ . . . . .</i>	Ar, He, Ar+He
<i>Диаметр отверстия плазмообразующего сопла, мм . . . . .</i>	2,0; 2,8; 3,2; 3,5; 4,0
<i>Внутренний диаметр защитного сопла, мм . . . . .</i>	30
<i>Диаметр плазмotronа, мм . . . . .</i>	42
<i>Сила тока дежурной дуги, А . . . . .</i>	30
<i>Масса, кг . . . . .</i>	1,3

Защитное сопло также подвержено в процессе сварки значительному тепловому воздействию, поэтому имеет водяное охлаждение для предотвращения его преждевременного разрушения.

В зависимости от типа используемой сварочной головки **механизм подачи присадочной проволоки KD 4000** может быть размещен непосредственно на ней или расположен отдельно. Он обеспечивает поступление присадочной проволоки диаметром 0,8; 1,2; 1,6; 2,0 мм со скоростью 6–350 м/ч. При сварке алюминиевых сплавов механизм комплектуют подающими роликами с полусферической канавкой и тефлоновой направляющей для подачи проволоки в зону сварки.

Присадочную проволоку подают со стандартных сменных пластмассовых катушек диаметром 300 мм. Скорость подачи присадки задают с помощью пульта FPA–RC системы управления процессом сварки FPA 2003 без включения подачи проволоки. На пульте FPA–RC выставляют временную задержку подачи присадки после возбуждения дуги, а также время подачи проволоки, необходимое для заварки кратера. В схеме управления механизма предусмотрена возможность пульсирующей подачи присадки, синхронно с импульсами сварочного тока.

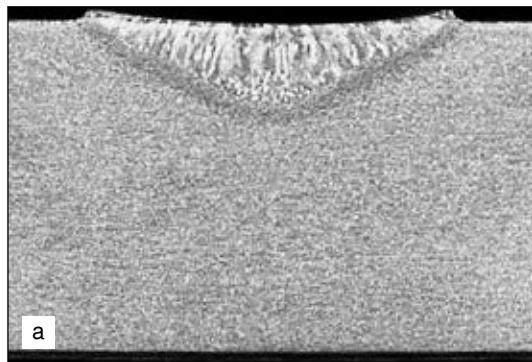
**Система управления FPA 2003–Plasma** является модификацией стандартной системы фирмы «Фрониус» FPA 2003. В ее

состав входит шкаф с аппаратурой и пульт дистанционного управления FPA-RC. Система позволяет осуществлять управление установкой PT 450AC/DC для плазменно-дуговой сварки, механизмом перемещения (по выбору — горизонтальное перемещение или вращение), механизмом подачи присадочной проволоки, внешними пневматическими клапанами, а также согласование с системой слежения по стыку.

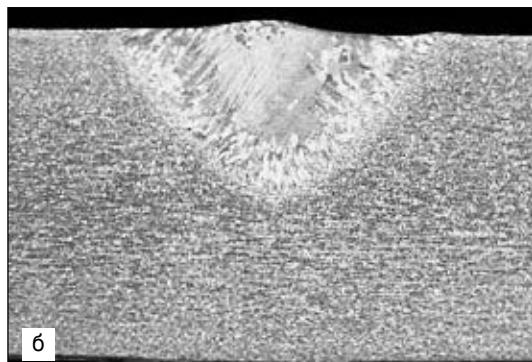
Все основные параметры при управлении установкой PT450AC/DC с помощью FPA 2003-Plasma вводят через клавиатуру дистанционного пульта. При этом есть возможность сохранения выбранных параметров в памяти системы управления (200 программ). В процессе сварки можно дистанционно с пульта корректировать силу сварочного тока и расход плазмообразующего газа. Шаг изменения параметра выбирает заранее оператор-сварщик. Использование дополнительного аппаратного и программного обеспечения позволяет осуществлять пульсирующую подачу плазмообразующего газа, синхронизируя ее с импульсами модулированного сварочного тока.

Монтаж бокса для стандартных 3,5-дюймовых дискет и программное обеспечение позволяют сохранить сварочные параметры на дискете с последующей обработкой и изменением данных на компьютере. Возможна дополнительная опция связи системы управления FPA 2003 — компьютер в режиме on-line, минуя дискеты. Для контроля работы системы предусмотрена возможность диагностики через сеть Интернет.

При управлении перемещением сварочной горелки возможна установка задержки старта после возбуждения дуги, контроль пройденного пути, автоматическое изменение сварочных параметров согласно ранее установленной программе и остановка по достижении заданного пробега. При выполнении кольцевых швов предусмотрено изменение параметров режима сварки по программе в зависимости от пройденного пути. После выполнения сварки горелку можно возвращать в исходное положение. Предусмотрена возможность установки (использования) оборудования и программного обеспечения для осуществления поперечных колебаний в процессе сварки. Коррекцию скорости сварки и поперечных колебаний можно проводить непосредственно в процессе сварки при помощи пульта дистанционного управления. Систему

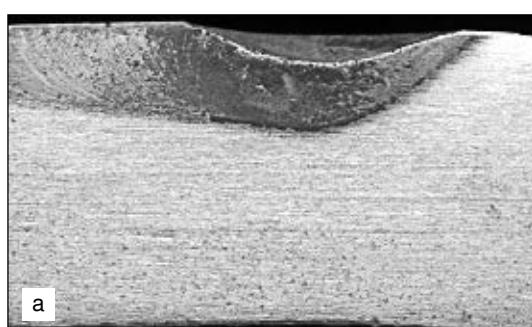


а

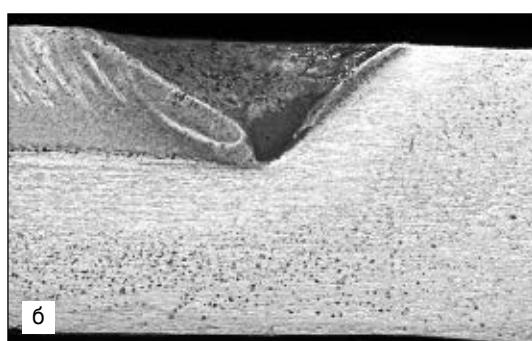


б

Рис. 2.  
Поперечные  
макрошлифы  
швов,  
полученных  
обычной  
аргоно-  
дуговой (а)  
и плазменно-  
дуговой (б)  
сваркой  
( $V_{cb}=12$  м/ч;  
 $I_{cb}=260$  А)  
сплава AMg6  
толщиной  
10 мм



а



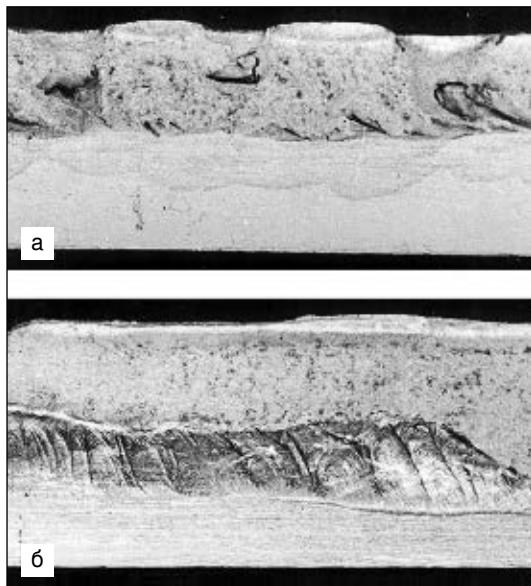
б

Рис. 3.  
Продольные  
макрошлифы  
кратеров  
швов,  
полученных  
обычной  
аргоно-  
дуговой (а)  
и плазменно-  
дуговой (б)  
сваркой  
сплава AMg6  
толщиной  
10 мм

управления можно согласовать с механизмами перемещения у заказчика, которые имеют шаговые двигатели или двигатели постоянного тока, и с аппаратурой лазерного слежения за стыком.

Плазменно-дуговую сварку разнополярным асимметричным током можно выполнить как на подкладке с формирующей канавкой, так и на весу в режиме сквозного проникновения плазменной струи. При этом

Рис. 4.  
Продольные изломы швов с неполным проплавлением сплава АМг6 толщиной 12 мм, полученные обычной аргонодуговой (а) и плазменнодуговой (б) сваркой



более высокая концентрация энергии позволяет при том же значении силы сварочного тока увеличить в два раза глубину проплавления шва по сравнению с глубиной проплавления аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом (рис. 2). Поэтому использование сжатой дуги обеспечивает повышение производительности процесса сварки.



### Ручной сканер

В США разработан портативный вакуумный рентгеновский флуоресцентный анализатор (ручной сканер), с помощью которого можно провести химические исследования на месте, т. е. сделать то, что ранее возможно было только в химической лаборатории. Так называемая «лаборатория в одной руке» имеет массу около 1,6 кг и способна проводить детальный анализ состава материала даже в полевых условиях.

Уникальный анализатор может идентифицировать и характеризовать широкий диапазон элементов, а также обнаруживать химические элементы с низкими атомными номерами — натрий, алюминий и кремний. Особенно важен анализ алюминиевых сплавов, так как эти сплавы широко используют в космической технике.

Ручной сканер обнаруживает и такой «трудный» компонент, как кремний, который может быть вреден при сварочных и других термических работах. Это позволяет, например, найти и удалить кремний на месте непосредственно перед нанесением покрытия. Такой анализ гарантирует качество и при сварке алюминиевых стержней.

Еще одна область применения — проверка качества изделий и их соответствия стандартам. С помощью ручного сканера качество изделий можно проверять в цехе и в полевых условиях.

Три вакуумных рентгеновских флуоресцентных ручных сканера уже используют в космической программе «Шаттл».

Сканер может найти широкое применение и в других отраслях промышленности, особенно в тех, где важен анализ материалов — автомобильное и фармацевтика. Так, поставляемые изделия и узлы могут быть исследованы на качество и на наличие дефектов. Например, коррозия обнаруживается даже через краску. Многие химические процессы смешивания могут быть оценены в режиме реального времени и с высокой точностью.

[www.sciencedaily.com](http://www.sciencedaily.com)

Кроме того, концентрированная плазменная струя проникает в расплавленный металл на большую глубину, чем свободно расширяющаяся дуга (рис. 3). А это очень важно при сварке алюминиевых сплавов, поскольку характерные для аргонодуговой сварки неплавящимся электродом оксидные включения наиболее часто встречаются в нижней части швов. Поступающие с основным металлом и присадочным материалом в расплав или образующиеся в процессе сварки оксидные пленки остаются неразрушенными именно в донной части сварочной ванны. Дуга сюда не проникает, а перемещение расплавленного металла очень незначительное, и вслыхание макроподушек оксидной пленки на поверхность сварочной ванны весьма проблематично. Увеличение глубины погружения плазменной струи в жидкий металл способствует более эффективному катодному разрушению оксидных пленок путем непосредственного воздействия на них дугового разряда и интенсивному перемешиванию расплава по всему объему сварочной ванны (рис. 4). Идеальные условия для разрушения оксидной пленки по всей толщине свариваемых кромок обеспечиваются при сварке на весу в режиме сквозного проникновения плазменной струи. Для получения качественных сварных соединений при плазменнодуговой сварке алюминиевых сплавов достаточно обеспечить такие же степень подготовки свариваемых поверхностей и точность их сборки, как при использовании свободно расширяющейся дуги. Кроме того, персонал, выполняющий сварочные работы автоматической аргонодуговой сваркой, может быть легко переучен для выполнения процесса плазменнодуговой сварки на новом более производительном оборудовании.

Применение плазменнодуговой сварки алюминиевых сплавов разнополярным асимметричным током с прямоугольной формой волны вместо аргонодуговой сварки неплавящимся электродом позволяет повысить производительность процесса сварки и качество сварных соединений. Преимущества процесса автоматической плазменнодуговой сварки алюминиевых сплавов и наличие надежного и относительно дешевого оборудования для его реализации создают серьезные предпосылки для замены широко распространенного способа аргонодуговой сварки неплавящимся электродом.

● #596

# Сопротивление наплавочных сплавов на основе железа абразивному изнашиванию\*

*D. J. Kotecki, J. S. Ogborn, Lincoln Electric Co. (США)*

Существует много видов абразивного изнашивания, происходящего при низком напряжении (усилие, приложенное к изнашиваемым частицам, недостаточно для того, чтобы раздавить или разрушить их), при высоком (усилие, приложенное к изнашиваемым частицам, раздавливает их), сухое и мокрое, высокоскоростное столкновение частиц (с участием или без участия жидкости) и т. д. Таким образом, для выбора наплавочных сплавов, обеспечивающих высокое сопротивление абразивному изнашиванию, необходимо определить его форму. Исходя из этого Американским обществом по испытанию материалов (ASTM) был разработан ряд стандартных методов испытаний для различных форм абразивного изнашивания: ASTM G65 (абразивное при низком напряжении), ASTM G99 (абразивное при высоком напряжении), ASTM G105 (мокрое при низком напряжении), ASTM G75 (шламовое), ASTM G76 (бомбардировка твердыми частицами) и ASTM G73 (бомбардировка жидкостью).

Даже среди наплавочных сплавов на основе железа существует множество микроструктур, обладающих различной степенью сопротивления абразивному изнашиванию, включая феррит/бейнит, мартенсит, аустенит и карбиды. В большинстве случаев наиболее стойки карбиды.

**Микроструктура наплавочных сплавов на основе железа.** Существующие на рынке наплавочные сплавы на основе железа можно в соответствии с их микроструктурой разделить на такие категории:

- ферритно-бейнитные (FB);
- мартенситные (MS);
- смешанные мартенситно-аустенитные (MA);
- аустенитные марганцовистые (AM);
- первичный аустенит с аустенитно-карбидной эвтектикой (PA);

- псевдоэвтектические аустенитно-карбидные (NE);
- первичные карбиды с аустенитно-карбидной эвтектикой (PC).

Кроме того, мартенситные сплавы классифицируют в зависимости от того, является ли мартенсит этих сплавов низколегированным мартенситом, мартенситом инструментальной стали (с возможностью вторичного твердения) или мартенситом коррозионностойкой стали (нержавеющей). Аустенитные марганцовистые сплавы подразделяют на обычные и сплавы высшего качества (позволяют получать стабильный аустенит даже в разбавленном первом слое металла, наплавленного на поверхность пластины из низкоуглеродистой стали). Карбиды сплавов на основе первичных карбидов также можно разделить на обычные карбиды хрома, карбиды высокого качества (включая значительное количество карбидов Mo, Nb, V, W и/или Ti), а также карбиды высшего качества, которые производят первичные карбиды даже в разбавленном первом слое наплавленного материала.

Наплавочные сплавы часто выбирают исходя из достигаемой твердости или их состава. Однако производственная практика не подтверждает такой подход. Хорошо известны, по меньшей мере, три различные микроструктуры: низколегированный мартенсит, деформационно упрочненный аустенитный марганец, околоэвтектический аустенит-карбид. При абразивном изнашивании с низким напряжением было обнаружено, что аустенит-карбид значительно превосходит две другие микроструктуры. Сплав с большим содержанием карбида хрома совсем необязательно будет иметь превосходство над сплавом с меньшим содержанием карбида хрома. В то же время, если менее легированный сплав содержит больше углерода, то он превосходит сплав с большим содержанием карбида хрома.

**Программа экспериментов и их результаты.** Для разработки рекомендаций по использованию наплавочных сплавов на

\* Welding Journal. — №8. — 1995 (перевод В.А. Потапова).

основе железа при наплавке износостойким материалом была принята система оценки сплавов по полученным дуговой сваркой наплавленным слоям с точки зрения их сопротивления абразивному изнашиванию при низких напряжениях. Была выбрана норма ASTM G65, методика A. Она предусматривает стандартизованный метод испытаний (впервые опубликован в 1980 г.) с использованием сухого кварцевового песка со строго ограниченными размерами частиц, минимум 95% которых находится в диапазоне от 300 до 212 мкм. Этот песок протекает тонким слоем со скоростью 300–400 г/мин между проверяемой деталью и твердым резиновым диском диаметром 229 мм. Испытательная установка показана на *рис. 1*. Усилие, приложенное к испытуемому образцу для его прижатия к диску, составило 130 Н, а сам диск при испытаниях вращали с частотой 200 об/мин (всего делали 6000 оборотов).

При проведении испытаний с наплавкой твердого материала в качестве базового материала была использована сталь марки ASTM A36 (C – 0,25%, Mn – 0,8–1,2%, Si – 0,15–0,4%, P – 0,04%, S – 0,05%). В большинстве случаев образец имел вид горячекатаной пластины толщиной 12,7 мм, шириной 2,75 мм и длиной около 360 мм. Первый слой наплавки был наложен на всю длину пластины, второй – на две трети длины, а третий и четвертый – на оставшуюся часть.

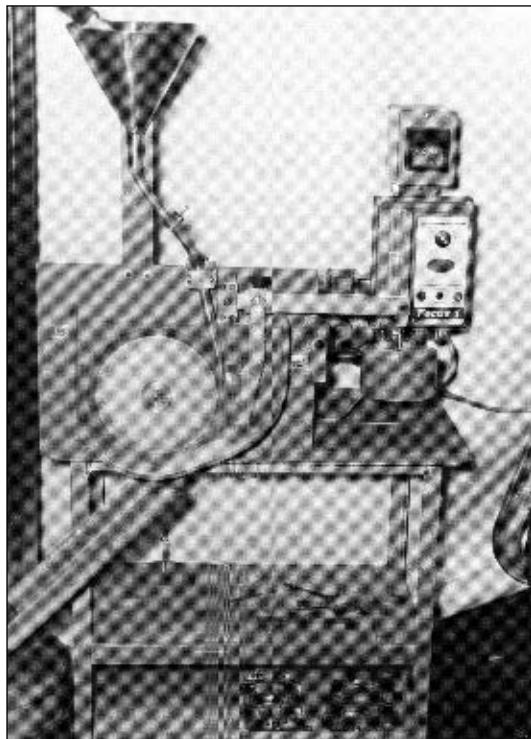


Рис. 1.  
Общий вид  
установки для  
проведения  
испытаний на  
абразивный  
износ по  
нормам  
ASTM G65,  
методика A

Всю наплавку выполняли без поперечных колебаний электрода, без первоначального предварительного подогрева и с максимальной температурой. Перед наложением одно-, двух- и четырехслойных твердых покрытий были вырезаны образцы длиной примерно 75 мм. Поверхности этих образцов гладко отшлифовали, а сами образцы взвесили с точностью до 0,01 г. После проведения испытаний по норме ASTM G65 каждый образец был взвешен снова, и была вычислена потеря массы. В большинстве случаев по меньшей мере два аналогичных испытания были проведены на одном и том же образце, а результаты были усреднены. В целях сравнения проводили также испытания на стали с более высоким содержанием углерода и на сером чугуне.

Электрод для наплавки твердого материала испытывали на одном, двух и четырех наплавленных слоях на низкоуглеродистой стали. В результате из-за эффекта растворения получалось три разных состава наплавки. В некоторых случаях комплексный химический анализ на наличие элементов, которые должны присутствовать в данной наплавке, не проводили на всех трех подвергаемых испытаниям образцах, однако анализ недостающих элементов выполняли по данным других образцов. Таким образом, в некоторых наплавленных слоях карбида хрома анализ на присутствие марганца и кремния не был проведен, хотя и было известно, что эти элементы в незначительных количествах должны присутствовать. У слоев, наплавленных менее легированными металлами, образующими либо ферритно-бейнитные или мартенситные структуры, химический анализ состава всех элементов, кроме углерода, был проведен спектрофотометрией с атомным излучением. Для выявления углерода применяли прибор, работа которого основана на методе плавления. Химический анализ слоев, наплавленных более высоколегированными металлами, проводили с помощью влажного метода. Всего было выполнено примерно 200 наплавок, проверенных по норме ASTM G65, методика A.

Установлено, что при определении величины сопротивления абразивному изнашиванию микроструктура имеет большее значение, чем твердость.

Довольно дорогие наплавочные материалы, содержащие значительное количество карбидов высшего сорта, вовсе не обеспечивают или обеспечивают сравнительно не-

большое увеличение сопротивления абразивному изнашиванию по сравнению с относительно недорогим материалом, имеющим почти эвтектическую микроструктуру с 30% Cr. В свою очередь этот материал не обладает таким же высоким сопротивлением абразивному изнашиванию, как материалы, имеющие первичный карбид с пониженным содержанием хрома и повышенным содержанием углерода. Тем не менее существует возможность снизить содержание хрома до достаточно низкого уровня с тем, чтобы не формировались первичные карбиды хрома, даже при содержании углерода выше 4%, но тогда начинает уменьшаться сопротивление абразивному изнашиванию. Примерами такого сочетания являются экспериментальные составы 410CCR2 (Cr – 10,4%, C – 4,4%) и 410CCR1 (Cr – 8,7%, C – 4,02%), сопротивление абразивному изнашиванию у которых не настолько велико, как у других составов, содержащих первичный карбид. Микроструктура наплавочного материала 410CCR2 позволяет судить, что его первичные карбиды не обладают гексагонально-подобной формой, что указывает на кристаллическую структуру, отличную от структуры  $\text{Cr}_7\text{C}_3$ . Диаграмма состояния тройной системы C–Cr–Fe указывает, что  $\text{M}_3\text{C}$  (в особенности  $\text{Fe}_3\text{C}$  с некоторой заменой Cr на Fe в карбидной кристаллической решетке) будет представлять собой фазу первичного карбида с содержанием хрома менее 15%, тогда как  $\text{M}_7\text{C}_3$  (в особенности  $\text{Cr}_7\text{C}_3$  с некоторой заменой Fe на Cr в карбидной кристаллической решетке) – ту же фазу с содержанием хрома более 15%. Соседствование  $\text{Cr}_7\text{C}_3$  имеет более высокую микротвердость (приблизительно 2100 DPH), чем  $\text{Fe}_3\text{C}$  (примерно 1300 DPH).

**Анализ результатов.** Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что твердость – ненадежный предсказатель величины сопротивления абразивному изнашиванию. На рис. 2 все микроструктуры первичных карбидов расположены в нижней части, т. е. имеют место минимальная потеря по массе или максимальное сопротивление абразивному изнашиванию.

Известно также, что материалы для наплавки иногда выбирают и на основании содержания легирующих элементов, причем считается, что более высокое содержание этих элементов обеспечивает более высокое сопротивление абразивному изнашиванию. Это можно оценить графически. Один из способов состоит в том, что в со-

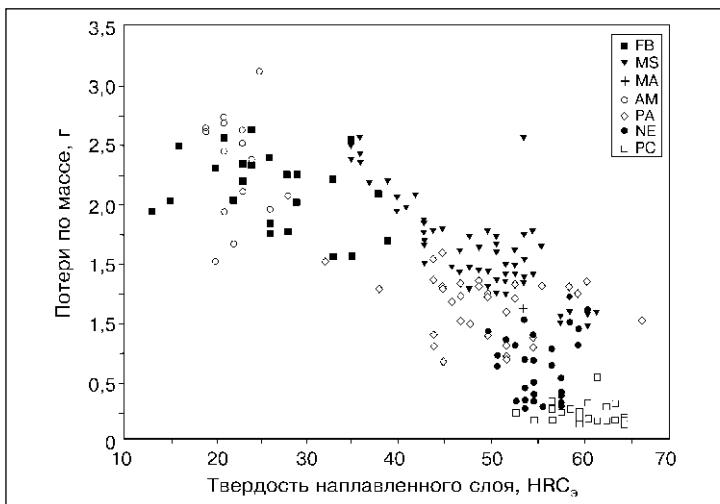
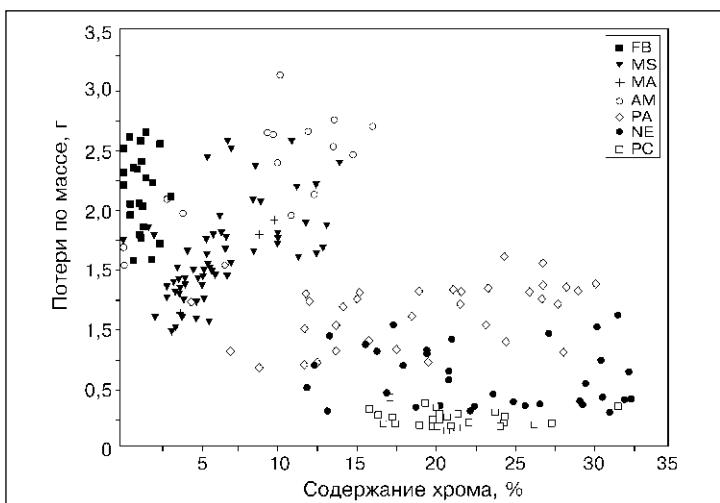


Рис. 2. График зависимости потери по массе от твердости наплавленного слоя



ответствии с результатами испытаний по нормам ASTM G65 составляют график зависимости потери по массе от содержания хрома в наплавленных слоях (рис. 3). Очевидная корреляция между более низкой потерей по массе (и соответственно большим сопротивлением абразивному изнашиванию) и большим содержанием хрома даже слабее, чем показанная на рис. 2 корреляция в отношении твердости, причем разброс еще более значителен. Также на рис. 3 видно и некоторое скопление данных для конкретных типов микроструктур.

Построение многих других графиков по результатам испытаний также не дало удачной корреляции потери по массе с многими другими факторами. В то же время была обнаружена очень хорошая корреляция между потерей по массе и содержанием углерода в наплавленном материале (рис. 4). Корреляция между сниженной потерей по массе (и соответственно большим сопро-

Рис. 3.  
График  
зависимости  
потери  
по массе от  
содержания  
хрома в  
наплавленном  
слое

тивлением абразивному изнашиванию) и увеличением содержанием углерода безошибочна, а разброс показаний относительно невелик, особенно при повышенных содержаниях углерода. Эта корреляция является наиболее значительной и по важности существенно превосходит все остальные.

На рис. 4 показан основной результат этих исследований, подтверждающий влияние углерода и микроструктуры на величину сопротивления абразивному изнашиванию. Каждому типу микроструктуры соответствует определенный диапазон содержания углерода. В диапазоне низкого содержания углерода (менее 1%), по-видимому, появляются две области, показывающие в пределах группы данных важнейшие тенденции.

Содержание углерода примерно от 0,3 до немногим более 1% может привести к мартенситным микроструктурам или к марганцевому аустениту. Мартенситы (низколегированные сплавы, инструментальная или коррозионностойкая стали) обладают значительно более высокой твердостью, чем марганцевые аустениты. Поскольку обе эти структуры в значительной мере лишены более твердых частиц углерода, получается, что абразивному изнашиванию сопротивляется только матрица, и поэтому мартенсит обладает явным преимуществом по сравнению с аустенитом.

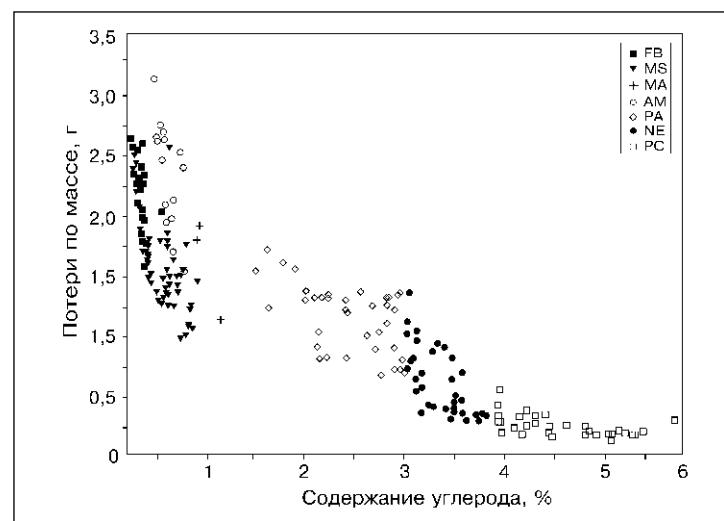
Значительный объем аустенитно-карбидной эвтектики не появляется до тех пор, пока содержание углерода не достигнет примерно 2%. Поэтому в сплавах, содержащих менее 1–2% углерода, отмечается низкое сопротивление абразивному изнашиванию по сравнению с сопротивлением, оказываемым мартенситом с высоким содержанием углерода.

При содержании углерода, во всяком случае, такие сплавы менее износостойчивы, чем мартенсит. Если больше аустенитно-карбидной эвтектики и меньше первичного аустенита, сопротивление абразивному изнашиванию слегка увеличивается, но первичная аустенитная микроструктура немного лучше, чем мартенсит. У сплавов с содержанием углерода в пределах 3–4%, когда микроструктура становится почти эвтектической, сопротивление абразивному изнашиванию увеличивается по мере увеличения содержания углерода. При доведении содержания углерода до 3,5% начинают появляться первичные карбиды, но они довольно широко рассеяны, поэтому износ определяется главным образом аустенитно-карбидной эвтектикой. При содержании 4% углерода и выше величина сопротивления абразивному изнашиванию зависит в основном от первичных карбидов. При содержании углерода более 5% некоторое увеличение сопротивления абразивному изнашиванию тоже наблюдается, но небольшое.

Для исследуемых микроструктур уровень содержания хрома оказывает весьма небольшое влияние на сопротивление абразивному изнашиванию (если вообще оказывает). Следует все же отметить наличие одного возможного исключения для высоколегированных хромом сплавов. Для этого типа микроструктуры содержание около 16% Cr как и содержание 32% Cr определяют примерно такую же величину сопротивления. Именно эта микроструктура определяет сопротивление абразивному изнашиванию и, в свою очередь, именно от содержания углерода в большинстве случаев (но не во всех) зависит микроструктура: более высокое содержание хрома все-таки является предпосылкой смещения эвтектического состава в тройной системе сплавов Fe–Cr–C в направлении несколько более низкого содержания углерода.

Исследования показывают, что можно довольно четко указать на различия в микроструктуре наплавочного материала в результате растворения углерода. Оно может оказывать воздействие на содержание как углерода, так и сплава в первом (и втором) наплавленном слое. Наплавочные материалы W21 с составами C – 2,58%; Mn – 1,06%; Si – 0,64%; Cr – 11,8; Mo – 1,07% и C – 2,37%; 1-й слой – 14,2% Cr; C – 3,5%; 2-й слой – 20,9% Cr являются примером того, как вследствие растворения углерода образуются первичные карбиды в четвертом

Рис. 4.  
График  
зависимости  
потери  
по массе от  
содержания  
углерода в  
наплавленном  
слое



слой наплавки из низкоуглеродистой стали дают в результате квазиэвтектику во втором слое и первичный аустенит в первом. Если в первом слое наплавленного на низкоуглеродистую сталь материала требуется высокая устойчивость первичных карбидов к абразивному изнашиванию, то для выполнения наплавки следует выбирать наплавочный материал с очень высоким содержанием углерода либо для наплавочного материала с обычным содержанием первичного карбида углерода с целью ограничения его растворения следует видоизменить процесс наплавки. Нередко этого достигают значительным перекрытием валиков в одном наплавочном слое. Иногда можно также изменить наплавочный процесс, обеспечивающий более низкое растворение углерода.

Существуют и примеры того, как растворение легирующих элементов больше, чем растворение углерода, оказывает влияние на микроструктуру наплавки на углеродистой стали. Наплавочные материалы: С – 0,349%; Mn – 7,0%; Si – 0,24%; Cr – 2,07%; 1-й слой – 0,28% Ni; С – 0,405%; Mn – 9,7%; Si – 0,25%; Cr – 2,91%; 2-й слой – 0,38% Ni; С – 0,465%; Mn – 11,7%; Si – 0,28%; Cr – 3,93%; 4-й слой – 0,45% Ni и наплавочные материалы: С – 0,418%; Mn – 8,12%; Cr – 0,05%; Mo – 1,08%; 1-й слой – 0,02% V; С – 0,485%; Mn – 10,51%; Cr – 0,05%; Mo – 1,59%; 2-й слой – 0,02% V; С – 0,606%; Mn – 12,08%; Cr – 0,13%; Mo – 1,76%; 4-й слой – 0,04% V – это два примера того, как первый слой, имеющий名义ально аустенитно-марганцовистую микроструктуру наплавочного материала на углеродистой стали, вследствие растворения легирующих элементов превратился в мартенсит. Об этом можно судить не только по составу первого наплавленного слоя, но и по твердости этого слоя. Наплавленный слой с аустенитно-марганцовистой микроструктурой имеет твердость 20–25 HRC<sub>3</sub> в состоянии сразу после сварки, однако твердость первого слоя указанных выше наплавочных материалов составляет 50 HRC<sub>3</sub> или выше, причем микроструктура этого слоя полностью мартенситная. Многократно подтверждалось, что такой первый слой расстремивается при воздействии деформации либо отслаивается от базового металла по линии сплавления при наложении нескольких слоев. Это одна из причин того, почему существуют первосортные наплавочные материалы с аустенитно-марганцовистой

микроструктурой. Более высоколегированный наплавочный материал дает стабильный аустенит на углеродистой стали даже в растворенном первом слое, в результате чего получаются наплавки, обладающие высокой вязкостью и ударопрочностью.

Результаты испытаний показали минимальную разницу в величине сопротивления абразивному изнашиванию при низких напряжениях между первичными карбидными сплавами, где карбиды образуются только хромом, и первичными карбидными сплавами, содержащими более дорогие карбидообразующие материалы, например Nb, Ti, V или W при том же уровне содержания углерода. Однако абразивное изнашивание может произойти и в условиях высоких напряжений, которые разгружают абразивные частицы. В этих условиях у более дорогих высококачественных карбидов Nb, Ti, V и W сопротивление больше, чем у карбидов Cr.

Анализ результатов исследований позволил сделать следующие выводы.

- Не твердость, а микроструктура является важнейшим фактором, определяющим величину сопротивления абразивному изнашиванию в условиях низких напряжений наплавочных сплавов на основе железа.
- Наиболее устойчив к абразивному изнашиванию первичный карбид с аустенитно-карбидной эвтектикой. Второе место занимает псевдоэвтектический аустенит-карбид.
- Углерод – наиболее важный элемент, определяющий микроструктуру и, следовательно, сопротивление абразивному изнашиванию наплавочных сплавов на основе железа. Содержание углерода выше 4% при содержании хрома выше 16% приводит к появлению первичного карбида с наплавочной микроструктурой аустенитно-карбидной эвтектики.
- Растворение основного металла может привести к тому, что первый (и даже второй) слой наплавленного сплава будет иметь различную микроструктуру. При наличии эффектов растворимости свойства наплавленного сплава могут отличаться от ожидаемых.
- Эффекты растворения можно предотвратить, применяя при наплавке материалы с более высоким уровнем содержания углерода (и/или более высоким уровнем содержания легирующих элементов).

● #597

# Плазменное упрочнение колес и рельсов

*С. В. Петров, д-р техн. наук, ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины*

**Проблема увеличения срока службы колес и рельсов весьма актуальна, поскольку потери, связанные с ускоренным изнашиванием, оказывают существенное влияние на экономику железнодорожных перевозок. Одна из причин изнашивания — боковое удельное давление в зоне контактирования колеса с рельсом. Особую актуальность проблема износа боковых граней рельсов и рабочей поверхности гребня колеса приобретает в первую очередь для железных дорог, проложенных в горной местности. Под действием центробежной силы гребни железнодорожных колес прижимаются к боковым граням головок внешних рельсов и интенсивно изнашиваются. Ускоряет этот процесс кварцевый песок и продукты износа стали, которые удерживает смазка, нанесенная на рельсы.**

Плазменное упрочнение рабочей поверхности позволяет существенно повысить функциональные свойства материала — сопротивление усталости и износостойкость. Автором накоплен девятилетний опыт разработки специализированного оборудования и реализации технологии плазменного упрочнения. Следует отметить, что аналогичные работы широко ведут в России различные коллективы. Так, технология плазменного упрочнения гребней колес без выкатки колесных пар признана наиболее эффективной разработкой ВНИИЖТ за последние пять лет.

В рамках технологии плазменного упрочнения существует несколько подходов, которые имеют определенные различия. Поверхностную закалку можно выполнять плазмотронами прямого и косвенного действия.

Главное достоинство поверхностной закалки сжатой электрической дугой прямого действия с магнитным сканированием заключается в недорогой мобильной аппаратуре. Недостатком является малая глубина закаленной зоны (0,1–1 мм) и неравномерность твердости по поверхности. При закалке плазмотроном косвенного действия глубина упрочненной зоны достигает до 3 мм при равномерной твердости.

Опыт эксплуатации подвижного состава свидетельствует о том, что оптимальной является равная твердость в зоне контакта колеса с рельсом на уровне 400–430 НВ. В этом случае происходит минимальный из-

нос пары. Износостойкость материала коррелирует с твердостью и его дисперсностью. С измельчением зерна и повышением твердости износостойкость возрастает. Позитивным следствием плазменного поверхностного упрочнения является снижение шероховатости в зоне контакта и, как следствие, уменьшение коэффициента трения и шума при движении. Закаленный слой имеет повышенную ударную вязкость и тормозит развитие трещин. На практике достигается увеличение среднего пробега плазменно упрочненных колес в 2–3 раза. Полученные данные позволяют также рекомендовать плазменную технологию для упрочнения боковых граней железнодорожных рельсов. Упрочнение в первую очередь целесообразно после репрофилирования старых, но годных рельсов.

Однако применению плазменной технологии в некоторых случаях могут препятствовать две технологические особенности. Об этом вполне резонно говорят критики технологии: первая — это отсутствие в некоторых депо эффекта от упрочнения, иногда даже, наоборот, плазменная термообработка приводит к повышению износа (например, Харьковское локомотивное депо «Основа»); вторая — разрывы упрочненных бандажей по непонятным причинам. Первое и второе является следствием ошибок при создании специализированной плазменной аппаратуры. Опытная эксплуатация участков плазменного упрочнения колесных пар перешла в промышленную без доработок плазменных установок. Основной упор сначала, когда многое было неясным, делался на квалификацию операторов. Поэтому плазменное поверхностное упрочнение до настоящего времени в реальных условиях больше напоминает искусство, а не технологию. Очевидно, что процесс и результат упрочнения колеса не должны зависеть от оператора. Собрать нестандартную плазменную установку сегодня не сложно, а для достижения полной воспроизводимости всех параметров процесса и свойств закаленной зоны на каждом колесе при 100%-м исключении брака необходим полный учет всего комплекса

сложных взаимозависимостей. Они сегодня известны. Поэтому, по глубокому убеждению автора, такого рода нестандартное оборудование, от которого зависит безопасность движения, перед сдачей в эксплуатацию должно быть подвергнуто квалифицированной экспертизе.

Целесообразно остановиться на главной причине разрушения бандажей в результате термического воздействия. С неожиданным появлением трещин на рабочей поверхности колеса и в отдельных случаях с разрушением бандажей столкнулись, когда уже полным ходом шло плазменное поверхностное упрочнение гребней и работало около 15 участков в различных депо Укрзализныци. Вначале были проверены все возможные последствия, связанные с плазменным нагревом. Все расчетные и экспериментальные исследования сводились к тому, что используемая технология обеспечивает достаточно большой запас надежности, а упрочненный слой имеет повышенные механические характеристики и тормозит распространение микротрещин. Тем не менее причина разрушения колес была найдена. Поскольку данное явление носит общий характер, а колесо является главным элементом безопасности движения, хотелось бы обратить на него внимание в первую очередь эксплуатационников и ответственных за составление нормативной документации.

В эксплуатации рабочая поверхность колеса находится под действием комплекса различных нагрузок. Обнаружено, что при одновременном наличии трех факторов — материал приповерхностного слоя находится в сложнонапряженном состоянии, с поверхностным наклепом и при термомеханическом воздействии на поверхность — рабочий поверхностный слой материала колеса может практически утратить способность сопротивляться разрушению. Природа этих воздействий может быть различной: нагрев внешним тепловым источником, трение от тормозных колодок или рельсов, возникающее при блокировании колес во время торможения. Внешне это выражается в полной потере пластичности, охрупчивании материала, появлении на поверхности сетки трещин, напоминающих рыбью чешую, а на уровне тонкой структуры — в накоплении дефектов и ее разупорядочении. При этом повышается возможность распространения поверхностных микротрещин в глубь бандажа. Попадание та-

ких микротрещин в неблагоприятное поле растягивающих напряжений первого рода может привести к разрыву бандажа. Подобные разрушения в полной мере можно отнести к категории неожиданных с глубоко «спрятанной» истинной причиной.

Автором выполнен анализ структуры и физико-механических свойств приповерхностных слоев колесной стали в зоне контакта с рельсом, формирующихся под действием комплекса разнородных факторов. Целью исследования было выявление первоначальных причин разрушения колеса при одновременном наличии упомянутых трех факторов.

Бандажи сформированной колесной пары находятся в растянутом состоянии до уровня предела текучести материала. При эксплуатации на рабочей поверхности катания образуется упрочненный за счет наклена слой металла толщиной до 7–10 мм, твердость которого повышается от 285 НВ (основной материал) до 330–370 НВ на поверхности. При локальном изменении температуры такой поверхности выше 400 °С, когда материал теряет свои упругие свойства, могут произойти существенные изменения физико-механических свойств тонкого (100–500 мкм) приповерхностного слоя материала бандажа: потеря пластичности, охрупчивание, накопление дефектов и появление на поверхности сетки трещин. Параллельно были исследованы различные аспекты воздействия высококонцентрированных потоков энергии (плазмы) на материал колесной стали при процессах поверхностного упрочнения для повышения срока службы колес и отпуска дефектных колес перед перепрофилированием. Дальнейший анализ и сравнения показали, что нагрев поверхности от трения тормозными колодками и рельсами при блокировании колес для случая сложнонапряженного бандажа с наклепанным слоем приводит к одинаковой дефектности поверхности. Именно такая дефектность может стать причиной неожиданного разрушения колеса.

Решение задачи термоупругости и термопластичности заключалось в расчете нестационарных термонапряженных состояний, которые базировались на решении задачи нестационарной теплопроводности и использовании конечно-разностных численных методов решения. Оптимальная разбивка сечения на треугольные конечные элементы была достигнута на основании анализа нескольких вариантов. В итоге

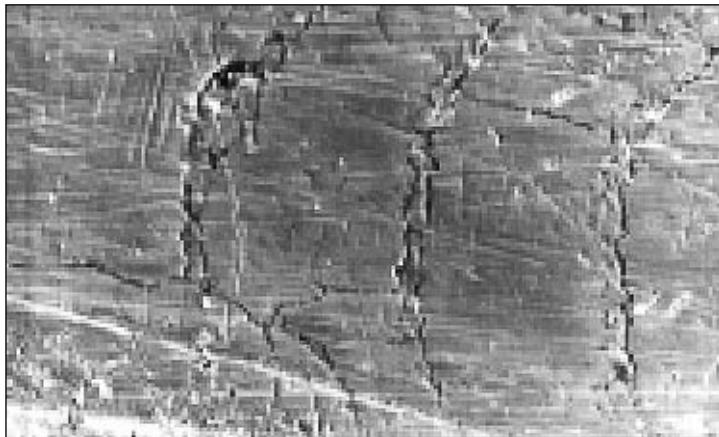


Рис. 1.  
Поверхностный дефект  
«рыбья чешуя»



Рис. 2.  
Поверхностные микротрещины

сечение бандажа колеса разбито на 657 элементов, соединенных в 365 узлов. Расчеты говорили о наличии напряжений и деформаций, но не опасных.

Особенности структуры материала колес исследовали различными методами. Металлографические исследования проводили на микроскопах «Неофот-32», «Versamet-2». Микротвердость образцов определяли на микротвердометре «Леко» при нагрузке на индентор 245 Н с шагом 0,05 мм. Химическое травление образцов проводили в 4%-м растворе  $\text{HNO}_3$ . С целью анализа изменения размеров зерна применялся метод количественной металлографии. Аналитическую растровую электронную микроскопию использовали для изучения характера распределения химических элементов в исследуемой зоне, определения химического состава в локальных областях фазовых выделений и сегрегаций, а также для изучения поверхности излома. Фрактографические исследования провели для получения информации о характере разрушения, о наличии хрупкого или вязкого разрушений, о причинах, приводящих к охрупчиванию. Тонкую струк-

ту исследовали на просвет на приборе JEM-2000CX (фирмы Jeol). Такое прямое исследование проводили с целью более глубокого и детального анализа особенностей структуры, морфологии и распределения мелкодисперсных фазовых образований различного типа, их состава, а также характера распределения дефектов кристаллической решетки, формирования дислокационных неоднородностей, в том числе локальных концентраторов напряжений. Прочностные и пластические характеристики металла поверхностного слоя оценивали по результатам склерометрических испытаний. Принимая во внимание незначительную протяженность зоны термомеханического влияния и резкие изменения механических свойств на различных ее участках, разработан метод локального определения механических свойств материала с регистрацией диаграмм деформирования при царапании. С использованием данного метода определены основные механические характеристики металла на различных расстояниях от поверхности: предел текучести, предел прочности, истинное сопротивление разрыву и т. д.

Твердость исследовали с помощью комплекса микромеханических испытаний, позволяющих производить запись диаграмм: нагрузка — глубина внедрения и глубина внедрения — время при постоянной нагрузке. Полученные диаграммы позволяют определять истинную твердость материала по глубине внедрения индентора и твердость, восстановленную по глубине внедрения отпечатка после снятия нагрузки. По диаграммам рассчитывали величины, характеризующие уровень пластичности, показывающий возможности материала релаксировать возникающие напряжения при циклических воздействиях. Обнаружено, что возле вершины трещины максимально зафиксированная не восстановленная твердость составляет 10 ГПа (восстановленная твердость 13 ГПа), что соответствует уровню теоретически предельной твердости для данного материала. Такие места на поверхности с очень высоким (предельно возможным) уровнем твердости являются мощными концентраторами напряжений, значительно превышающими прочность материала. В местах, расположенных в стороне от трещины, невосстановленная твердость не превышает 7 ГПа.

Трещинообразование стимулируют следующие основные факторы:

- образование «раскатанных» протяженных неметаллических включений сульфидного типа, направленных параллельно внешней обрабатываемой поверхности (эта взаимосвязь четко просматривается при фрактографических исследованиях);
- формирование локальных внутренних напряжений в структурных элементах, характерных для основного металла (перлитных зернах), которые начинают проявляться на глубине примерно 100 мкм от поверхности.

О наличии концентраторов напряжений свидетельствуют образующиеся экстинкционные контуры, размер которых порядка 1,0–1,5 мкм, и высокая плотность дислокаций ( $>>10^{11}/\text{см}^2$ ). Поскольку при размерах контуров экстинкции приблизительно 3,0 мкм создается изгиб кристаллической решетки 30°/мкм, что должно соответствовать примерно 40% локальной деформации в указанном микрообъеме, то следует полагать, что в результате уменьшения размера контуров экстинкции до 1,0–0,5 мкм локальная деформация в области наблюдаемых трещин будет еще выше, т. е. больше 40%. Оценка локальных напряжений через дислокационную плотность дает следующее: они близки к значению теоретической прочности. Приведенные оценки, полученные с использованием различных методик, совпадают.

Выполненный анализ позволил объяснить механизм зарождения микротрещин с последующим вероятным разрушением колеса. Одновременное наличие вышеупомянутых трех факторов является необходимым условием разрушения колеса, но недостаточным. Достаточное условие возникает, когда материал колесной стали имеет пониженное качество: оно соответствует ГОСТ, но загрязненность находится на верхнем пределе. Разрушить бандаж из качественной стали очень трудно. В локомотивном депо Львов-Запад поставили такой эксперимент. Операторы плазменной установки выполняли следующую процедуру: закалку гребня до твердости 500–600 НВ с последующим отпуском до 180–220 НВ. Разрыв бандажа произошел после 36 циклов из-за термической усталости. Истинные причины разрушения колес часто остаются неизвестными из-за отсутствия специализированных исследовательских центров и устаревшей инструментальной базы в действующих лабораториях.

Вместе с тем на практике наличие опасного поверхностного дефекта, который с большой вероятностью может привести к разрушению колеса, определить очень просто. Наиболее опасной по расчетам и наблюдениям является зона перехода гребня к поверхности катания. Если здесь обнаружена сеть микротрещин, напоминающих рыбью чешую (*рис. 1*), следует просто проточить колесо, не ожидая появления дефектов, при которых эксплуатация запрещается. Под «рыбьей чешуей» находится множество микротрещин (*рис. 2*), каждая из которых может вызвать разрушение. Данный вид поверхностного дефекта является «лакмусовой бумажкой», определяющей низкое качество материала колесной стали.

Поэтому, по мнению авторов, целесообразно внести в Инструкцию по формированию и содержанию колесных пар данный вид поверхностного дефекта как несовместимый с эксплуатацией.

● #598

## Российские поезда будут оснащаться S-образными колесами

В течение двух лет в России планируют наладить производство уникального сверхпрочного S-образного вагонного колеса. С точки зрения безопасности и экономии это колесо является идеальным решением. У S-образного колеса, в отличие от обычного, диск между ступицей и ободом не прямолинейный, а имеет форму латинской буквы S, поэтому оно гасит колебания, которые возникают между тележкой и кузовом вагона.

Как заявил в ходе пресс-конференции на Выксунском металлургическом заводе (ВМЗ) президент ОАО «Российские железные дороги» Геннадий Фадеев, сейчас три колеса уже проходят испытания в Московском научно-исследовательском институте РЖД. Первый поезд с такими колесами появится на линии «Москва—Санкт-Петербург» приблизительно в конце 2007 г. Но скорее всего, первые колеса будут не российского производства, так как у ОАО «РЖД» заключен договор по созданию высокоскоростных поездов с компанией Siemens. Особо востребованы поезда с S-образными колесами могут быть в таких городах-миллионниках, как Омск, Новосибирск, Красноярск.

В 2003 г. ОАО «РЖД» и ВМЗ подписали контракт на поставку до 2010 г. пяти миллионов колесных пар на сумму в 1,2 млрд рублей. В 2004–2005 гг. компания закупила 250 000 высокопрочных колесных пар. По словам Г. Фадеева, ставилась задача, чтобы колесо пробежало не менее одного миллиона километров. Для этого оно должно быть прочным, не поддаваться изнашиванию. Планируется, что к 2010 г. поезда ОАО «РЖД» будут оснащаться только новыми высокопрочными и высокоскоростными вагонными колесами.

[www.complenta.ru](http://www.complenta.ru)



# Повышение износостойкости быстрорежущих инструментальных сталей при обработке импульсным электрическим током

**Ю. В. Баранов, д-р техн. наук, Институт машиноведения им. А. А. Благонравова РАН (Москва)**

Проблему получения оптимальных свойств металлов и сплавов путем воздействия электрического тока исследуют достаточно давно. Однако некоторые вопросы до настоящего времени изучены недостаточно. Например, мало изучены инструментальные быстрорежущие стали типа Р6М5, Р18, Р8М3, Р12, Р6М5К5, Р6М5К8 и др., широко используемые в настоящее время в производстве. Замена дорогостоящего вольфрама на молибден привела к снижению металлорежущих свойств инструмента. Одним из возможных методов повышения износостойкости инструмента из вольфрамо-молибденовых сталей может быть метод обработки импульсным электрическим током.

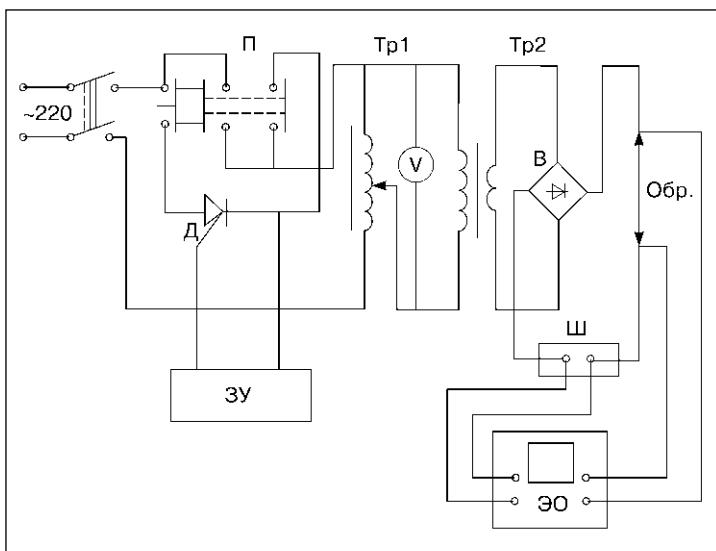
При нагреве в печах и ваннах передача энергии происходит извне, скорость нагрева ограничиваются условиями теплопередачи из внешней среды в металл (лучеиспусканием или конвекцией) и теплопроводностью металла. При электронагреве энергия выделяется непосредственно в нагреваемом теле в результате прохождения через него электрического тока, поэтому интенсивность нагрева гораздо выше. Время нагрева в большинстве случаев составляет секунды и доли секунд. Это обуславливает

высокую производительность, слабое окисление и обезуглероживание поверхности нагреваемых изделий.

Вместе с тем при быстром нагреве фазовые превращения в стали протекают за весьма короткое время, недостаточное для завершения диффузационных процессов. Это приводит к образованию ряда особенностей, которые следует учитывать при разработке новых технологий термической обработки. Чем быстрее происходит нагрев, тем при более высокой температуре завершается процесс образования аустенита. При длительности нагрева менее 12–14 с температура аустенизации должна быть существенно выше равновесной. Ее выбирают экспериментально в зависимости от состава стали и характера исходной структуры. При быстром нагреве аустенит получается неоднородным по углероду и легирующим элементам. Обеспечить его гомогенизацию (например при нагреве под закалку легированных сталей) можно с помощью изотермической выдержки, дозируя передаваемую в сталь энергию путем регулирования режимов электронагрева. При быстром электронагреве зерно аустенита не успевает вырасти до величины, получаемой при термической обработке с нагревом в печи. Его размер обычно соответствует 11–12 баллам стандартной шкалы (ГОСТ 5639–82), в то время как при печном нагреве – 7–8 баллам.

Применение электронагрева позволяет повысить культуру производства, механизировать и автоматизировать процесс термической обработки, встроить термические установки непосредственно в линии механической обработки деталей. Наряду с этим электронагрев при правильном его использовании способен обеспечить существенно более высокие эксплуатационные свойства термически упрочненных деталей.

Рис. 1.  
Схема низковольтного  
источника  
тока



машин, повысить их надежность и долговечность.

Упрочнение импульсным электрическим током в технологической цепочке изготовления инструмента необходимо выполнять перед его заточкой. Проходя через проводящий материал, склонный к структурным и фазовым превращениям, импульсный электрический ток действует в первую очередь на элементы структуры (на области со скоплениями дислокаций, примесных атомов, вакансий и т. д.), обладающие избыточной запасенной энергией, вызывая необходимые физико-химические изменения в материале. Управляя этими изменениями, можно получить необходимые качества материала: повышенную твердость (за счет дисперсионного твердения), вязкость (за счет получения мелкого зерна), прочность, пластичность, износостойкость.

В процессах перестройки структуры сталей при обработке импульсным электрическим током основная роль принадлежит дисперсионному твердению, выделениям карбидов различной морфологии и структуры, перераспределению легирующих компонентов (W, Mo, V) в мартенсите, концентрации углерода в мартенсите. Важное значение имеет однородность размеров карбидов, выделяющихся при отпуске мартенсита. Наибольший эффект повышения износостойкости дают мелкие карбиды, когерентно связанные с решеткой  $\alpha$ -раствора. Растворение больших карбидов и достижение их размерной однородности — один из основных механизмов формирования оптимальных свойств быстрорежущих сталей при обработке импульсным электрическим током.

Для получения импульсов тока необходимы специальные импульсные генераторы, энергоемким элементом которых служат индуктивные и емкостные накопители, или электрическая машина и сварочные трансформаторы большой мощности.

В наших исследованиях использовали низковольтный источник переменного тока промышленной частоты, выполненный на базе трансформатора ОСУ-40 мощностью 40 кВт (рис. 1). Основными силовыми элементами его являются трансформатор тока, выпрямительное устройство, собранное из вентилей В-800, устройство управления, работающее как в ручном, так и автоматическом режиме, позволяющее регулировать амплитуду тока в диапазоне от 0 до

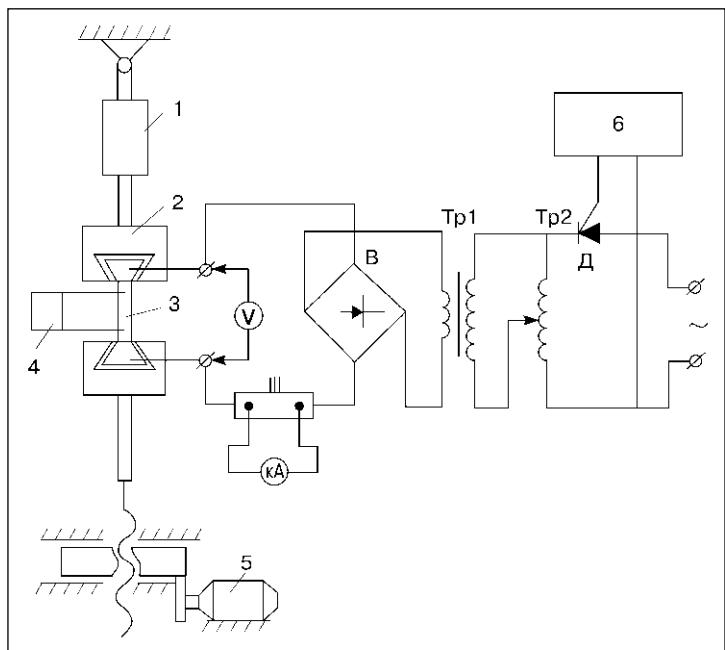


Рис. 2. Схема соединения низковольтного источника импульсного электрического тока и установки для комплексных физико-механических испытаний материалов: 1 — измеритель нагрузки; 2 — захваты образца 3; 4 — датчик деформации; 5 — двигатель испытательной машины; 6 — блок управления

10 000 А и длительность суммарного импульса от 0,02 с до 1 мин. С помощью такого источника можно получать оптимальную энергию, передаваемую материалу как при непрерывных процессах производства, так и в лабораторной практике при механических испытаниях образцов.

Конструкция подобных источников тока достаточно проста, они практически безопасны для персонала.

С целью обеспечения возможности деформирования материалов при одновременном воздействии импульсного электрического тока была создана комплексная установка для физико-механических исследований материалов с электронно-микроскопическим наблюдением изменений структуры при тепловых и деформационных воздействиях и обработкой микроструктурных изображений. Для этого использовали растровый электронный микроскоп РЭМ-100 и анализатор изображений МикроСвіт (рис. 2).

Схема устройства для обработки импульсным электрическим током металло режущего инструмента показана на рис. 3. Цанговая часть образца (сверла) 5 крепится в медных зажимах 3, перемещающихся по направляющим стержням 4 и 6. К режущей части сверла подведен пружинный контакт 7. На расстоянии 10 мм от торца

вой части сверла 5 к боковой режущей кромке приварен спай хромель-алюмелевой термопары диаметром 0,4 мм.

На пульте управления импульсов (РЦС-403ТЧ) устанавливают режим обработки материала: длительность импульса, силу тока, напряжение. При нажатии пусковой кнопки сигнал от РЦС-403ТЧ поступает на полумост тиристоров, которые замыкают первичную обмотку низковольтного трансформатора 1, а по шинам 2 и 8 ток поступает на зажимы 3 и медный подпружиненный контакт 7. Данная система обеспечивает обработку материала импульсным током определенной мощности и длительности. Длительность импульсов варьировали от 0,02 с до 0,6 с, температуру нагрева — от 100 до 1000 °C, скорость нагрева — от 150 до 6000 °C/c.

Под воздействием импульсного электрического тока большой мощности были исследованы изменения микротвердости  $H_c$ , интенсивности изнашивания  $J$ , ударной вязкости  $A$ , фазового состава и концентрации С легирующих элементов (вольфрама, молибдена, ванадия) в мартенситной матрице быстрорежущей стали Р6М5. При этом температуру нагрева образцов, регистрируемую термопарой, изменяли от 80 до 600 °C.

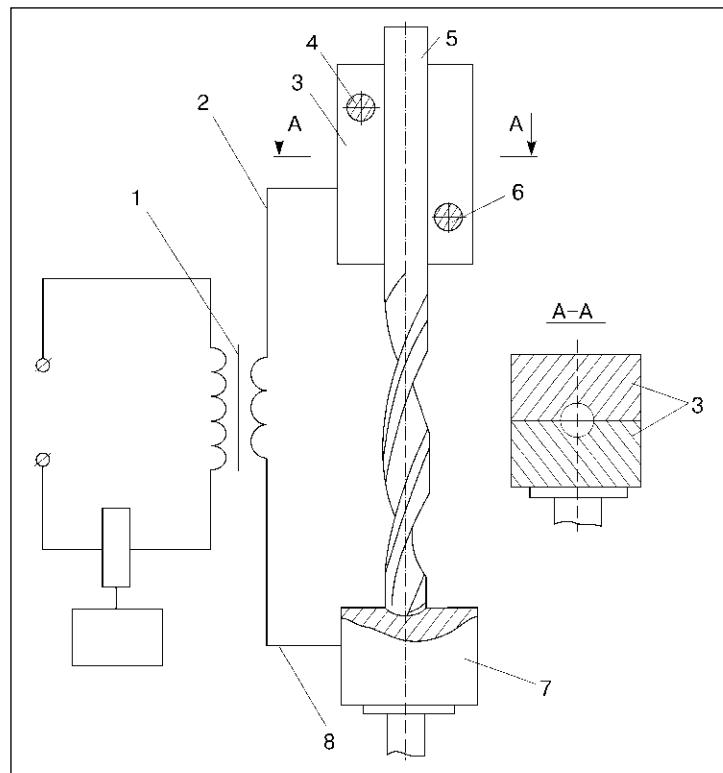
По результатам измерения микротвердости до и после обработки выбирали температуру нагрева, при которой достигалась

максимальная микротвердость. В данном случае она составляла 150 °C. Затем определяли физико-механические свойства образцов стали, нагретых импульсным электрическим током с различными скоростями нагрева до температуры 150 °C. Результаты статистически обрабатывали и строили зависимости изменения свойств от скорости нагрева  $V_n$ . Сопоставление различных функциональных зависимостей позволило достаточно точно определить параметры обработки стали Р6М5, при которых достигается оптимальное сочетание свойств, необходимое для надежной эксплуатации металлорежущего инструмента. В данном случае оптимизацию проводили по интенсивности износа.

На рис. 4 показаны зависимости изменения микротвердости стали Р6М5 после нагрева до 150 °C с различными скоростями при числе термоциклов соответственно один (рис. 4, а) и пять (рис. 4, б). Каждый последующий термоцикл проводили после охлаждения образца до нормальной температуры. Такая постановка эксперимента связана с тем, что функциональная зависимость изменения свойств обработанной заготовки (образца) от числа термоциклов имеет экстремум. Максимальная твердость стали Р6М5 в данном случае достигается при пяти термоциклах. Из рисунков следует, что как при одном, так и при пяти термоциклах максимальная микротвердость достигается при скорости нагрева 800–1000 °C/c, при скоростях нагрева меньше 800 °C/c микротвердость уменьшается. Увеличение числа термоциклов приводит к возрастанию эффекта примерно на 100 единиц микротвердости (на 15%).

Графики доказывают, что максимальная интенсивность изнашивания наблюдается у образцов, нагреваемых со скоростью примерно 250 °C/c, что соответствует минимуму микротвердости. Минимум интенсивности изнашивания зафиксирован при скорости нагрева 800–1000 °C/c. При этом минимальная интенсивность изнашивания наблюдается у образцов, обработанных пятью термоциками, что опять коррелирует с аналогичным изменением микротвердости. Необходимо отметить, что минимум функции  $J = f(V_n)$  сдвигается в сторону больших скоростей нагрева при пяти термоциклах обработки, что, по-видимому, связано с необходимостью предотвращения процессов возврата в стали, а это в свою очередь требует более высоких скоростей нагрева.

Рис. 3.  
Схема  
установки  
для электро-  
импульсной  
обработки  
сверл



Необходимо отметить наличие двух минимумов ударной вязкости А (удельной энергии разрушения) при скорости нагрева 250 и 600 °С/с и двух максимумов при 500 и 1200 °С/с. Эти изменения ударной вязкости коррелируют с функциональными зависимостями (рис. 4, б), отображающими изменение концентрации легирующих элементов В, Мo и V, являющихся основными карбиообразующими компонентами в стали Р6М5.

Минимумы кривых А соответствуют уменьшению концентрации С легирующих элементов в мартенсите при 100 и 600 °С/с. Максимумы соответствуют максимумам концентрации С легирующих элементов при 400 и 1200 °С/с. При увеличении числа термоциклов эффект возрастает.

Хорошо проявляется обратно пропорциональная зависимость между микротвердостью Н и интенсивностью изнашивания J при одном и пяти термоциклах обработки. Имеется определенная корреляция между концентрацией С легирующих компонентов в мартенсите и интенсивностью изнашивания J. Увеличение содержания V и Mo в мартенсите повышает интенсивность изнашивания J, а уменьшение их концентрации резко снижает J. Это связано с тем, что V и Mo являются основными карбиообразующими элементами в стали Р6М5. Выделение мелких карбидов вольфрама при обработке импульсами тока приводит к упрочнению матрицы, при этом концентрация V в мартенсите падает, так как он связывается в карбиды.

Мелкие карбиды вольфрама, размером в сотые доли микрометра и менее, являются одной из главных причин повышения твердости и износостойкости материала. По мере увеличения скорости нагрева создаются благоприятные условия для образования карбидов вольфрама, молибдена и ванадия, которые зарождаются в местах максимального выделения теплоты, а именно на дефектах структуры, границах зерен, микропорах, скоплениях дислокаций. При этом локальные температуры нагрева могут достигать значений, существенно превышающих среднюю температуру образца. Именно в таких местах и происходит быстрое образование карбидов. Поскольку в реальном сплаве существует достаточно большое количество микроискажений, то и плотность карбидов также высока. Величина карбидов должна сохраняться малой, в противном случае проис-

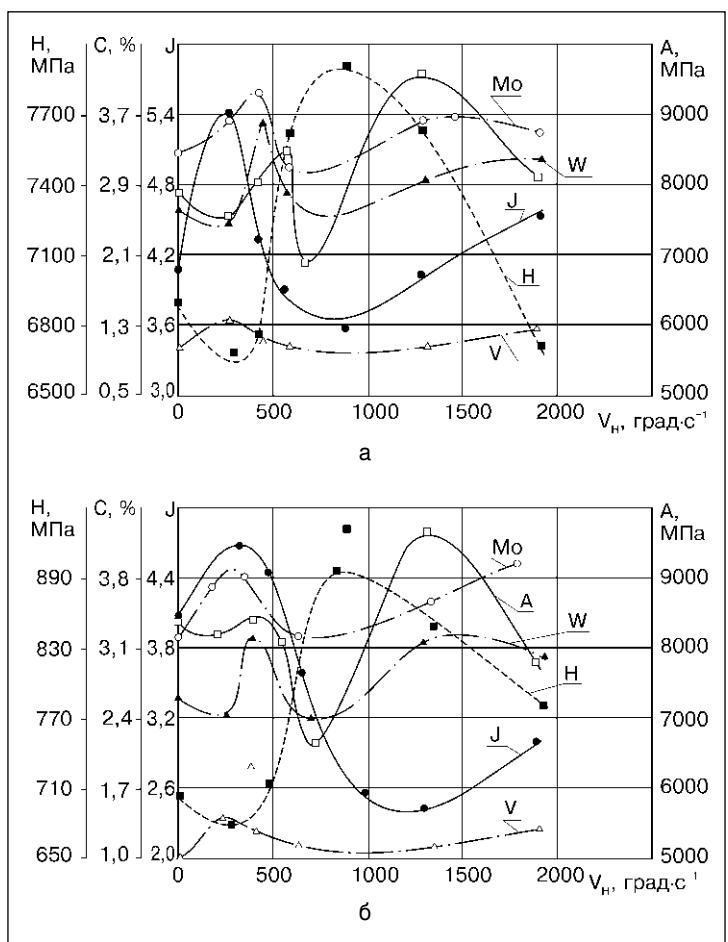


Рис. 4. Изменение свойств стали Р6М5 при обработке одним (а) и пятью (б) импульсами электрического тока в зависимости от скорости нагрева  $V_h$

ходит нарушение когерентной связи между матрицей и карбидом, и эффект упрочнения пропадает. Это, по-видимому, происходит при повышении скорости нагрева. Увеличение скорости нагрева требует увеличения амплитуды пропускаемого через образец электрического тока и приводит к существенному перегреву металла в области микродефектов. При этом возможны процессы неконтролируемого роста карбидов и нарушение когерентности между карбидами и матрицей. Кроме того, менее интенсивно протекают процессы возврата. Необходимо отметить, что вольфрам, молибден и ванадий образуют с железом твердые растворы замещения, усиливая тем самым межатомное взаимодействие и в конечном итоге повышая прочность стали. Выделение этих компонентов в большом количестве из сплава разупрочняет его, но образование карбидов, когерентно связанных с матрицей-мартенситом, приводит к упрочнению, повышению твердости и износостойкости.

● #599

# Переносная машина АСШ-500 для фигурной резки листового проката

*А. М. Семернев, завод «Электронмаш», Е. А. Скуднов, ОАО «ЗОНТ» (Одесса)*

В настоящее время в машиностроении, при производстве металлоконструкций и выполнении ремонтных работ все чаще ставятся задачи получения фигурных заготовок из листового металлопроката. На рынке СНГ имеется довольно много различных типов машин с ЧПУ для термической резки, фотокопировальных машин или консольных машин, в которых резка осуществляется по магнитному шаблону. Однако практически отсутствуют малогабаритные переносные машины, способные производить резку фигурных заготовок. Применение машины АСШ-500 позволяет восполнить этот пробел, обеспечивая резку фигурных деталей в условиях заготовительно-сварочных цехов небольших производств или ремонтных участков при очень низкой себестоимости вырезаемых заготовок.

Машина позволяет производить следующие технологические операции:

- вырезку фигурных деталей из листовой низкоуглеродистой стали одним резаком с автоматическим копированием контура детали по стальному копиру;

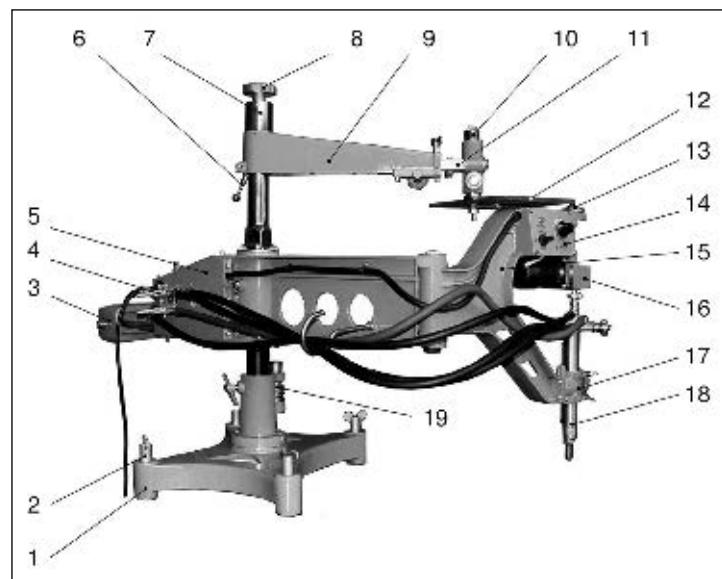


Рис. 1. Машина для фигурной резки АСШ-500: 1 — тумба; 2 — установочный винт; 3 — противовес; 4 — газовый коллектор; 5 — несущая рама; 6 — стопор; 7 — колонна; 8 — штурвал; 9 — хобот; 10 — прижимы; 11 — выдвижная штанга; 12 — копир; 13 — магнитная головка с копировальным пальцем; 14 — пульт управления; 15 — наружная рама; 16 — ведущий механизм; 17 — державка резака; 18 — кислородный резак; 19 — регулятор

- вырезку деталей типа «фланец» без применения стальных шаблонов за счет использования специального циркульного приспособления, обеспечивающего движение резака по окружности в диапазоне диаметров от 100 до 500 мм.

#### Технические характеристики:

Размеры обрабатываемых листов, мм:

квадрат	.....	500×500
прямоугольник	.....	450×900
окружность	.....	600
прямолинейный рез	.....	1200

Толщина разрезаемой

низкоуглеродистой стали, мм..... 5...100

Скорость перемещения резака,

мм/мин ..... 50...750

Неравномерность скорости

перемещения резака, %..... 15

Число резаков, шт. .... 1

Точность воспроизведения заданного

контура по ГОСТ 5614, мм ..... ±1,0

Применяемые газы:

кислород технический по ГОСТ 5583, сорт, не ниже	.....	1
горючий газ (природный — основная поставка, ацетилен или пропан-бутан — по заказу потребителя) с теплотой сгорания, МДж/м <sup>3</sup> (ккал/м <sup>3</sup> ), не менее	.....	35,6 (8500)
Давление газов на входе в резак, МПа (кг/см <sup>2</sup> ):		
кислород	.....	0,25—0,85 (2,5—8,5)
горючий газ	.....	0,03—0,08 (0,3—0,8)
Электропитание от сети двухфазного переменного тока с глухо заземленной нейтралью:		

напряжение, В ..... 380±38

частота, Гц ..... 50±1

потребляемая мощность,  
кВт, не более..... 0,06

Масса машины, кг, не более ..... 35

Габаритные размеры машины,

мм, не более:

длина ..... 1190

ширина ..... 335

высота ..... 800

Общий вид машины приведен на рис. 1. Хобот 9 предназначен для закрепления штанги 11, к которой при помощи прижимов 10 крепится копир. Для получения оптимальной настройки положения копира хобот может поворачиваться вокруг оси колонны, а также передвигаться в вертикальном направлении с помощью штурвала 8. Фиксация хобота в нужном положении относительно колонны производится стопором 6.

Узел крепления копиров предназначен для установки шаблонов и дополнительного регулирования их положения по высоте. Установка копира производится на штанге 11, установленной на хоботе.

Прижим 10 для крепления копира устанавливается и фиксируется в нужном положении. Установка и фиксация копира осуществляется с помощью винта и гайки.

Копир должен изготавливаться с крепежными отверстиями диаметром 10,5–11 мм.

В качестве технологической оснастки на машине может быть установлен один резак инжекторного типа или резак внутрисоплового смешения. Система газопитания машины обеспечивает управление подачей рабочих газов на резак. От заводской сети, рампы или баллонов газы подводятся к газовому коллектору, расположенному на несущей раме, далее по трем рукавам — к резаку.

Электрическая схема машины предусматривает возможность плавного изменения оборотов двигателя в пределах скорости перемещения резака от 50 до 750 мм/мин.

**Варианты комплектования резательной системы.** Машину АСШ-500 можно использовать как в переносном, так и в стационарном (рис. 2) вариантах. В стационарном варианте машина устанавливается на опорной колонне. Для укладки разрезаемого листа применяется раскройный стол.

В переносном мобильном варианте (рис. 3) машина устанавливается на разрезаемый лист и переставляется по нему по мере вырезания деталей.

По дополнительному заказу для резки круглых деталей может поставляться циркульное устройство, позволяющее производить резку фланцев диаметром 100–500 мм без применения стальных копиров.

Регулятор оборотов электродвигателя обеспечивает перемещение ведущего маг-



Рис. 2. Стационарный вариант комплектования резательной системы машины АСШ-500

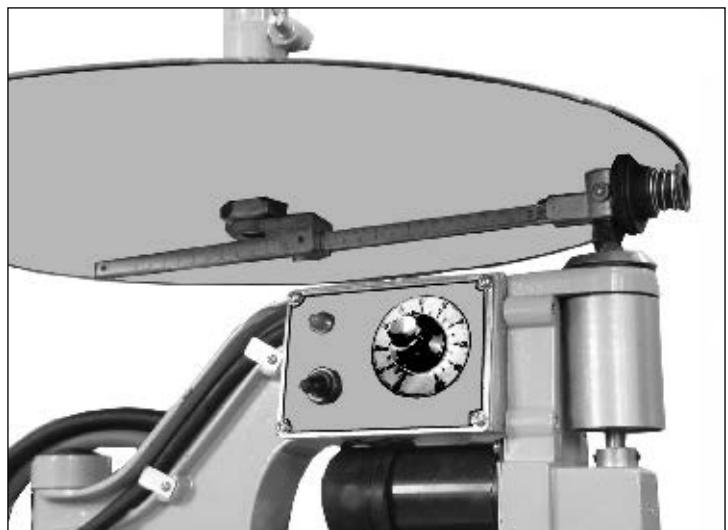


Рис. 3. Переносной мобильный вариант комплектования резательной системы машины АСШ-500

нитного пальца во всем диапазоне рабочих скоростей (50–750 мм/мин).

Машина АСШ-500 предельно проста в обслуживании. Работа с ней не требует от оператора высокой квалификации. • #600



# Гигиеническая характеристика сварки под флюсом и оздоровление условий труда сварщиков

**О. Г. Левченко, д-р техн. наук, ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины**

**Сварка под слоем флюса – прогрессивный процесс не только по техническим, но и по гигиеническим характеристикам. При этом процессе сварочная дуга закрыта флюсом, вследствие чего устраняется вредное воздействие излучения, отсутствуют искры и брызги расплавленного металла, уровень шума дуги незначительный, и самое главное достоинство – уровень выделения сварочно-аэрозоля (СА) в 2 раза ниже, чем при сварке покрытыми электродами и сварке в защитных газах.**

Источниками образования СА являются, главным образом, сам флюс, а также электродная проволока. В то же время слой флюса выполняет роль фильтра, при прохождении через который основной поток СА осаждается и лишь незначительная часть попадает в окружающую атмосферу.

Уровень выделения СА определяет мощность сварочной дуги, а химический состав СА зависит от состава флюса и электродной проволоки (табл. 1).

Обязательными компонентами СА, образующегося при сварке под флюсом, являются соединения марганца (9–12%), кремния (3–9%), железа (30–70%), а также растворимые и нерастворимые фториды. В составе газообразной составляющей СА (ТССА) присутствуют фтористый водород и тетрафтористый кремний, а также незначительное количество оксидов азота и монооксида углерода. Гигиеническая характеристика СА, образующегося при применении типичных флюсов, приведена в табл. 1. Для обеспечения предельно допустимых концентраций (ПДК) компонентов СА при сварке под флюсом можно применять системы вентиляции, производительность которых в десятки или сотни раз ниже, чем при сварке покрытыми электродами (табл. 2).

При выполнении сварочных работ с применением флюсов в воздух рабочей зоны, кроме СА, поступает также мелкодисперсная пыль самих флюсов, которая переходит во взвешенное состояние во время подачи флюса из бункера в

сварочную ванну, а также при сборе флюса и засыпании обратно в бункер. Химический состав этой пыли идентичен составу флюса.

При сварке под плавлеными флюсами концентрация СА и пыли флюса в зоне дыхания сварщика может достигать 3–50 мг/м<sup>3</sup>, а при использовании керамических флюсов – 50–170 мг/м<sup>3</sup>. При использовании керамических флюсов концентрация растворимых фторидов в воздухе такая же, как и при сварке под плавлеными флюсами, а содержание монооксида углерода достигает (для некоторых марок флюсов) 400–500 мг/м<sup>3</sup>. Причиной этого является наличие в керамических флюсах карбонатов кальция и магния, которые, разлагаясь, способствует образованию большого количества диоксида и монооксида углерода. Кроме того, легирующие сплавы (ферромарганец, феррохром и т. д.), вводимые в керамические флюсы, повышают содержание в СА токсичных соединений марганца, хрома и др.

При сварке легированных сталей под флюсами в составе СА может присутствовать никель, а также шестивалентный и трехвалентный хром, причем при использовании керамических флюсов концентрация шестивалентного хрома выше, чем при сварке под плавлеными флюсами. Это объясняют наличием в керамических флюсах жидкого стекла как связующего, содержащего оксиды натрия и калия, которые связывают нестойкий хромовый ангидрид ( $\text{CrO}_3$ ) в хроматы калия и натрия.

Наиболее вредными компонентами СА, образующимися при сварке под флюсами

**Таблица 1. Интенсивность выделения, мг/мин, СА при автоматической сварке под флюсами проволокой Св-08ХМ диаметром 3 мм,  $I_{\text{св}} = 550 \dots 600 \text{ A}$ ,  $U_d = 45 \dots 47 \text{ В}$  (данные Киевского института медицины труда)**

Марка флюса	Токсичный компонент										
	TCCA	Si	Fe	Mn	Al	Mg	Ca	HF	$\text{SiF}_4$	$\text{NO}_x$	CO
АН-47	6,3	0,43	1,42	0,34	0,19	0,10	0,21	0,33	0,62	0,24	8,1
АН-22	7,1	0,55	0,70	0,28	0,33	0,26	0,65	0,13	0,52	Нет данных	12,0
АН-348А	7,2	—	1,16	2,75	—	—	—	4,3	—	0,93	—

**Таблица 2. Удельные выделения компонентов СА и требуемый воздухообмен вентиляции при сварке под флюсом**

Марка флюса	Удельное выделение определяющих токсичных компонентов СА, г/кг проволоки		Воздухообмен вентиляции, м <sup>3</sup> /кг проволоки
	Mn	NF	
AH-30, AH-60, AH-65, AH-67, AH-348A, 48-ОФ-11	0,012–0,07	0,002–0,004	40–570
ФЦ-2А, ФЦ-6, ФЦ-7, ФЦ-12, AH-26, AH-64, 48-ОФ-6М, ОСЦ-45	—	0,017–0,200	40–400
AHK-18	—	0,042–0,150	80–300

углеродистых и низколегированных сталей, являются фтористый водород, тетрафтористый кремний, растворимые фториды натрия и калия, соединения марганца; при сварке легированных сталей — соединения шестивалентного хрома и никеля.

В настоящее время работы по улучшению условий труда при сварке под флюсом ведутся по трем направлениям: технологическое (совершенствование составов флюсов), санитарно-техническое (применение высокоеффективных средств местной вентиляции), применение средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД).

Для совершенствования составов сварочных флюсов с целью улучшения их гигиенических свойств изменили шлаковую основу флюса. Известные высококремнистые марганцевые флюсы AH-348, ОСЦ-45 и AH-60 имеют сравнительно высокую токсичность, обусловленную наличием в них большего количества фтористого кальция. Эффективным средством снижения выделений летучих фторидов при плавлении флюса является введение в его состав оксида титана вместо некоторого количества фтористого кальция и диоксида кремния. При этом снижается уровень выделения СА и содержания в нем фтористого кальция, фтористого водорода и тетрафтористого кремния. Это объясняется более высокой температурой испарения оксида титана и образующихся в результате его взаимодействия с фтористым кальцием тетрафтористого титана, который также имеет повышенную температуру испарения по сравнению с тетрафтористым кремнием. На основе полученных результатов были разработаны новые серийные флюсы AH-36, AH-64 и AH-65, которые по результатам санитарно-гигиенических и биологических исследований показали значительное преимущество перед флюсами AH-60 и AH-348. Вместе с тем уменьшить вредные выбросы в 1,5–1,7 раза можно, заменив флюс ОСЦ-45 на AH-348A.

При сварке под слоем флюса рекомендуют, кроме флюсоотсоса, применять для улавливания СА щелевое или воронкообразное вытяжное устройство (см. *Методические указания по проектированию «Местные вытяжные устройства к оборудованию для сварки и резки металлов», Л.: ВНИОТ*). Необходимый расход воздуха L (м<sup>3</sup>/ч), удаляемого таким местным отсосом, зависит от силы сварочного тока:

$$L = 12 \sqrt[3]{I_{cb}},$$

где I<sub>cb</sub> — сила сварочного тока, А.

Расчеты, выполненные по данной формуле, показывают, что при автоматической сварке под флюсом производительность удаления воздуха местными вытяжными устройствами должна составлять (в зависимости от силы сварочного тока) 70–140 м<sup>3</sup>/ч. Расход воздуха, удаляемого воронкообразным вытяжным устройством, следует увеличить на 10%. Всасывающее отверстие данного устройства нужно располагать на высоте 40–50 мм над поверхностью флюса.

Можно применять местные вытяжные устройства «Гном-80» и «Гном-100» фирмы «Экоюрс-Венто». Их производительность соответственно 130 и 180 м<sup>3</sup>/ч.

Наиболее эффективными из известных средств местной вентиляции в данном случае являются портативные фильтровентиляционные агрегаты (ФВА), которые не только удаляют воздух из зоны сварки, но и очищают его от вредных веществ при выбросе в атмосферу. К ним можно отнести переносные ФВА типа MFC-300 и LF-400 фирмы «СовПлим» производительностью соответственно 160 и 300 м<sup>3</sup>/ч, а также другие ФВА такого класса различных фирм. Наиболее подходящими для сварки под флюсом являются известные ФВА «Мрія-1» и «Мрія-2» со специальным фильтром для улавливания СА, в том числе и фтористых газов. Отсасывающие устройства данных средств местной вентиляции следует устанавливать на минимальном расстоянии от источника выделения вредных веществ (не более 10 см).

Для полного удаления вредных веществ из рабочей зоны производственные помещения должны быть оборудованы также общеобменной приточно-вытяжной вентиляцией, производительность которой может быть снижена до 10–25% от расчетной (см. табл. 2).

В случае необходимости для индивидуальной защиты органов дыхания можно использовать фильтрующие респираторы «Снежок ГП-В» и «Снежок ФГП-В», а также более удобные СИЗОД — устройства очистки и подачи воздуха в зону дыхания «Шмель-40 ФГП» (подробнее см. «Сварщик», № 3, 2004).

● #601

# Про природу виробничого травматизму

**A. O. Водяник**, канд. техн. наук, Національний науково-дослідний інститут охорони праці (Київ)

**Для ефективного управління охороною праці, вибору та застосування надійних і доступних заходів і засобів профілактики нещасних випадків на виробництві необхідно знати, з чим ми маємо боротися. Тобто, які фактори, причини та джерела небезпек можуть викликати в конкретних умовах, на певному робочому місці (дільниці, підприємстві, в галузі чи державі загалом) травмування працівника.**

Питання причинно-наслідкових зв'язків в охороні праці — надзвичайно складне, неоднозначне й до сих пір остаточно не вирішene. Існує багато теорій причин нещасних випадків, моделей травмування, інших узагальнюючих висновків, але загальноприйнятої теорії універсального характеру, яка б однозначно пояснювала всі особливості процесу травмування працівника на виробництві, ще не створено. Наведемо деякі з існуючих теорій.

**Теорія «доміно»,** запропонована Г. Гейнріхом (США) у 1931 р., базується на встановленому ним факті, що 88% усіх нещасних випадків викликані неправильними діями персоналу, 10% ненадійністю устаткування і 2% «форс-мажором». Було визначено «п'ятифакторну послідовність» виникнення нещасного випадку, у якій кожен фактор спричиняє наступний подібно падінню поставлених у ряд кісточок доміно. Послідовність запропонованих факторів має вигляд: 1) походження і соціальні умови; 2) помилка робітника; 3) неправильні дії в сукупності з механічною й фізичною небезпекою; 4) нещасний випадок; 5) ушкодження, травми.

**Теорія «ознаки й подія»** не стільки теорія, скільки застереження, яке варто враховувати для розуміння виникнення нещасного випадку. В ній звертається увага на те, що при аналізі нещасних випадків зосереджуються, як правило, на очевидних причинах, часто не звертаючи уваги на інші, у тому числі й головні. Неправильні дії і небезпечні умови праці є ознаками, очевидними або безпосередніми причинами, а не головними, корінними причинами нещасного випадку.

Відповідно до **теорії чистої випадковості** для кожного з певної групи робітників імовірність того, що з ним може трапитися

нешасний випадок, є однаковою. Це означає, що не існує однозначно визначеної послідовності подій, які можуть привести до нещасного випадку. Тобто ніяке зовнішнє втручання не допоможе попередити нещасний випадок, тому не варто навіть пробувати.

**Теорія зміщеної відповідальності** базується на точці зору, що коли працівник став жертвою нещасного випадку, то ймовірність того, що з ним у майбутньому може трапитися такий випадок, збільшується або зменшується в порівнянні з такою можливістю для інших працівників. Ця теорія мало що дає для розробки профілактичних заходів для запобігання нещасних випадків.

**В теорії схильності до нещасних випадків** стверджується, що в середині кожної групи працівників можна виділити підгрупу людей, із якими з більшою ймовірністю може трапитися нещасний випадок. Ця теорія не має переконливих доказів і не є загальноприйнятою. З точки зору профілактики це означає, що єдиним методом попередження нещасних випадків може бути недопущення до певних видів робіт «схильних до травмування» працівників або створення для них особливих (абсолютно безпечних) умов праці.

Наведені теорії виходять з того, що нещасний випадок — це неконтрольована, некерована подія, з якою неможливо боротися. Це, як підтверджує практика, не так. Позитивним моментом цих теорій є те, що вони звертають увагу на надзвичайну складність зв'язку причин із наслідками в процесі травмування та вирішальну роль при цьому особистісних факторів.

Прикладом сучасних теорій нещасних випадків на виробництві є **теорія переносу енергії**. Послідовники цієї теорії заявляють, що устаткування ушкоджується, а працівник травмується в результаті несанкціонованої дії (передачі) енергії. Дляожної такої дії можна визначити джерело, канал і приймач. Наведена теорія особливо корисна для виявлення потенційних небезпек і розробки способів щодо їх усунення. Для цього можуть застосовуватися стратегії превентивного або обмежувального харак-

**Таблиця. Найбільш відомі зарубіжні моделі нещасних випадків на виробництві**

Модель	Характеристика	Алгоритм ідентифікації небезпек	Характерні особливості
Моделі на основі послідовності сприйняття небезпеки та реакції на неї	Базуються на психологічних особливостях сприйняття інформації про небезпеку та можливостях реагування на неї особи, що потрапила під вплив небезпеки	Усвідомлення небезпеки та вибір поведінки людини взаємозв'язані, тому при відхиленні від нормальног ходу виробничого процесу необхідно уміти сприймати інформацію про це та відповідним чином реагувати	Причини нещасних випадків полягають у відхиленні виробничого процесу від заданих умов, недолік — не враховуються фактори, що не знаходяться поза сферою взаємодії людина-машина
Моделі з урахуванням помилок людини	Помилки є постійно складовою поведінки людини. Розуміння природи, часу появи та причин помилок — головні умови зниження ролі особистісного фактора у причинах травмування	Аналізується можливість виникнення помилок. Виділяються технічні помилки (ненавмисні при автоматичних діях), помилки правил (незнання або невиконання) та помилки знань (брак кваліфікації)	Технічні помилки найчастіше є останньою подією, що приводить до травми (не вистачає часу на виправлення); помилки правил та знань проявляються на більш ранніх стадіях
Модель на основі гомеостазису ризику	Основні положення: людина допускає рівень ризику, що визначається вигодами та втратами; вибір рівня ризику — саморегулюючий процес із зворотнім зв'язком; стимулювання бажання людини бути живою та здоровою — основний напрямок профілактики	Аналіз особливостей поведінки людини на виробництві, використання нею засобів захисту чи дотримання вимог безпеки праці, визначення спонукальних мотивів до ризику. Вибір способів профілактики, що заохочують безпечну поведінку людини	Позитивом є те, що констатується факт вирішального значення особистісного фактора у травмуванні та необхідність заохочувати працівника до безпечної поведінки. Негатив — спокуса до приховання нещасних випадків
Девіаційна модель нещасного випадку	Акцентують увагу на ранніх стадіях нещасного випадку (на відхиленнях від нормального стану виробничого процесу). Девіація — це відхилення (від встановлених вимог, запланованих результатів, загальноприйнятих, звичних вимог та допустимих значень)	Девіаційний аналіз складається з трьох етапів: визначення функцій та дій оператора і поділ їх на елементарні складові, визначення можливих порушень та оцінка їх наслідків, розробка заходів захисту. Вирішуються три задачі профілактики: знизити можливість девіацій, зменшити наслідки та зменшити час між появою і виявленням девіацій	Застосовується переважно для розслідування нещасних випадків (розробка бланків та контрольних таблиць, процедура розслідування). На даний час залежність між відхиленнями від норми та ризиком травми не встановлена, що є недоліком моделі
Інформаційна модель нещасного випадку	На основі спеціального інтерфейсу потерпілій визначає подію чи події, що привели до травми. На основі таких описів визначаються причини травматизму та розробляються заходи для їх нейтралізації	Визначаються: попередня подія (стан об'єкта, його положення рух); перша та наступні, при їх наявності, непередбачені події, що безпосередньо привели до травми. Інформація має якісний характер у вигляді упорядкованих усіх описів нещасних випадків	Корисна для виявлення причин травмування, для розпізнавання помилок персоналу, для контролю за процесом управління. Недолік — інформація в модель подається лише потерпілим, без розслідування спеціалістами на місці

теру чи стратегії, що базуються на підвищенні безпеки при переносі енергії.

Таким чином, з короткого огляду теорій причин виникнення нещасного випадку ми бачимо, що єдиного загальноприйнятого підходу до пояснення того, як та під впливом чого відбуваються нещасні випадки на виробництві, в даний час немає. Відомі теорії мають діапазон від заперечення можливості існування причинно-наслідкових зв'язків взагалі до твердження, що ці зв'язки існують і повинні мати вирішальне значення при виборі превентивних заходів з охорони праці.

На даний час за рубежем популярними є теоретичні узагальнення про природу виробничого травматизму у вигляді моделей нещасного випадку. Ці моделі почали інтенсивно розвиватися з 1960-х років, коли

прийшло усвідомлення того, що у більшості травм особистісний фактор відігравав якщо не вирішальну, то дуже важливу роль. Кількісні оцінки впливу особистісного фактора на виникнення нещасного випадку значно відрізняються. Проте дослідження виробничого травматизму зі смертельним наслідком, що виконувалися на початку 1980-х років в Австралії, показали, що цей фактор був присутній більш ніж у 90% травм.

У таблиці наведені характеристики найбільш відомих зарубіжних моделей травмування, що мають характер поведінкових та, деякою мірою, системних.

Уявлення російських вчених про природу виробничого травматизму дещо відрізняються від теорій та моделей нещасних випадків, характерних для західної науки.

Зокрема суть енергоентропійної концепції небезпек П. Г. Белова полягає в таких твердженнях:

1) виробнича діяльність є потенційно небезпечною, оскільки технологічні процеси зв'язані з використанням різних видів енергії (вироблення, зберігання, перетворення);

2) небезпеки проявляються внаслідок несанкціонованого або некерованого виходу енергії, накопиченої в обладнанні, зовнішньому середовищі, у самих працівниках;

3) раптовий вихід енергії може супроводжуватися травмуванням людей, пошкодженням обладнання або об'єктів оточуючого середовища;

4) небажаним подіям передує ланцюжок передумов, що приводять до втрати керованості технологічним процесом, небажаного викиду енергії та її дії на людей, обладнання та оточуюче середовище;

5) ланками причинного ланцюжка небажаних подій є помилкові та несанкціоновані дії персоналу, несправності й відмови техніки, а також неочікуваний вплив на них зовнішнього середовища.

Основні фактори, що викликають травматизм на виробництві, в цій концепції поділені на дві групи — фактори загального характеру та фактори безпосереднього впливу. До перших належать: протиріччя між постійно зростаючими потребами людства та можливостями їх задоволення; протиріччя між зростаючою кількістю нових для людини небезпечних факторів та еволюційно сформованими у неї захисними механізмами; відсутність загальної теорії безпеки.

Головні фактори безпосереднього впливу на можливість травмування — це слабкі навички працівників до дій у нестандартних ситуаціях; невміння правильно оцінювати ситуацію; недостатня технологічна дисциплінованість; низька якість конструкції робочих місць; невисока надійність та ергономічність виробничого обладнання; недосконалість відбору та підготовки персоналу; неякісна організація праці та дискомфортність робочого середовища.

У концепції безпеки, запропонованій Ф. С. Клебановим, виділяються дві головні категорії безпеки: небезпечні ситуації і небезпечні події. Такий поділ дозволяє виділити у небезпеці дві послідовні фази: перша (попередня) — виникнення небезпеки, друга — видимий (відчутний) прояв небезпеки у вигляді руйнування об'єктів безпеки та ураження суб'єктів небезпеки. Будь-

які небезпечні ситуації та небезпечні події — не одиничні (не унікальні), вони завжди повторюються з певною періодичністю. Кількісним параметром, який характеризує цю повторюваність є частота небезпечних ситуацій та частота небезпечних подій. Ці частоти зв'язані між собою. Не дивлячись на велике розмаїття небезпечних подій, які відбуваються у реальному житті, їх можна класифікувати за однією простою ознакою — кількістю попередніх небезпечних ситуацій. Кожному виду небезпечних подій відповідає своя модель безпеки, яка визначається видом та кількістю небезпечних ситуацій, що провокують реалізацію даних подій. В аналізі небезпечних подій доцільно враховувати не всі види небезпечних ситуацій, а лише головні з них, оскільки урахування великої кількості ситуацій може значно ускладнити аналіз без суттєвої корисності для його результатів.

Виходячи з наведених узагальнень можна формулювати основні положення концепції безпеки. Основою її є розмежування двох понять — «безпека» та «охорона праці». Для охорони праці предметом і задачами пропонується вважати управління способами і засобами, спрямованими на зменшення частоти небезпечних ситуацій. Способи і засоби, які зменшують частоту (ймовірність) поєднання в часі небезпечних ситуацій та частоту (ризик) небезпечної події, належать до сфери безпеки. Звідси, метою охорони праці визначено зменшення частоти (ймовірності) небезпечних ситуацій, здатних трансформуватися в небезпечні події. Метою безпеки є не повне виключення небезпеки, а забезпечення технічно досяжного, економічно і соціально обґрунтованого мінімально припустимого ризику праці або іншого виду діяльності.

В роботі колективу українських вчених під керівництвом О. І. Амоші пропонується кібернетична модель нещасного випадку. Суть її полягає в тому, що виникнення виробничої травми уподібнюється системам автоматичного регулювання. Подібність проявляється у тім, що в основі як систем регулювання, так і травми лежить процес переносу, перетворення руху (енергії) від джерела до споживача. Згідно з цією моделлю акт травмування виникає за умов наявності певного зв'язку між джерелом небезпеки (енергії, руху) та травмуючою подією. Елементами цієї моделі є: 1) джерело енергії, руху, небезпеки; 2) пускач (все те, що сприяє виходу енергії, руху, небезпе-

ки за межі джерела); 3) датчик або перетворювач енергії, руху; 4) лінія зв'язку (фізично середовище, об'єкти чи їхні частини, через які передається енергія, рух до приймача; 5) приймач (підсилювач), який перетворює енергію у рух, що викликає травмування; 6) безпосередній виконавець травматичного руху; 7) небезпечна зона — місце, в якому відбувається травмуючий рух. Таким чином, у цій моделі запропоновано механізм процесу травмування, що відображає трансформування енергії (руху) через певну послідовність елементів виробничої системи у травматичну подію.

Перспективними та такими, що найповніше враховують ризики сучасного виробництва, є теоретичні уявлення про виробничий травматизм як процес, що складається з кількох послідовних етапів. Найчастіше причинами нещасного випадку визнається насиченість виробництва енергією та можливість виходу її з-під контролю. Відбувається це у більшості випадків під впливом помилок персоналу (безпосередніх виконавців, менеджерів, розробників машин і механізмів), відхилення від встановлених норм та внаслідок недосконалості або невідповідності техніки і технологій можливостям людини-оператора.

Більшість теоретичних узагальнень про природу виробничого травматизму мають на меті визначити головні небезпеки (ризики) виробництва для персоналу, на які необхідно орієнтувати профілактику. За значимістю ці небезпеки й, відповідно, стратегічні напрями профілактики розподіляються таким чином: у промислово розвинутих країнах останнім часом на перше місце вийшли небезпеки, зумовлені особистісним фактором, тобто різного роду помилками працівників, переважно безпосередніх виконавців. Крім того, в сучасних моделях нещасного випадку звертається увага на вміння працівника виявляти небезпеки на ранніх стадіях їх прояву та готовність вірно реагувати на них. Російські й українські фахівці з охорони праці при діляють значно менше уваги особистісному фактору. Особливістю наших підходів до прояснення природи виробничого травматизму є те, що основними причинами виробничої травми прийнято вважати техніку та стан організації безпечної взаємодії людини з виробничим середовищем, а першо-причиною травми у більшості випадків вважають різного роду енергію, що функціонує у виробничій системі.

● #602

ЧЕТВЕРТАЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА  
**«СТАНКОМАШЭКСПО 2005»**  
 31 августа - 2 сентября 2005 года. Одесса. Морской вокзал  
 Организатор: Центр выставочных технологий

## Промышленный форум состоялся в Одессе

С 31 августа по 2 сентября 2005 года в выставочном комплексе Одесского морского порта прошла четвертая специализированная выставка продукции машиностроительных предприятий, станко- и приборостроения **«СтанкоМаш Экспо 2005»**. Выставка была проведена при официальной поддержке Совета по вопросам выставочной деятельности в Украине, Одесской облгосадминистрации и включена в Единый каталог выставочных мероприятий в Украине.

Выставка с подобной тематикой — единственная на юге Украины. Одесса — высокоразвитый индустриальный регион — не случайно выбрана местом проведения выставки. В нашем крае промышленность и машиностроение играют значительную роль в структуре народно-хозяйственного комплекса. Реструктуризация производства, специальные региональные программы позволили освоить выпуск новой продукции и увеличить объемы производства. Машиностроительные и станкостроительные предприятия, отраслевые институты Одессы владеют уникальными технологиями, которые не имеют аналогов в Украине и странах СНГ. Кроме этого, Одесская область является крупнейшим в Украине потребителем продукции машиностроительных предприятий.

В выставке 2005 года приняли участие ведущие компании отрасли из Украины, России и Беларуси, представившие отечественное и зарубежное металлообрабатывающее оборудование, промышленный инструмент, продукцию тяжелого машиностроения, сварочное и автогенное оборудование, приборы для решения задач в различных сферах производства, средства автоматизации, электротехническое оборудование. За три дня работы выставку посетили более 2 тысяч специалистов из 17 областей Украины, АР Крым, Молдовы, Беларуси, России, Израиля и Польши. Из них около 40% — представители высшего руководящего звена, более половины — ведущие сотрудники предприятий, принимающие участие в формировании маркетинговой политики компаний.

Среди участников выставки такие известные компании, как: совместное украинско-российское предприятие «Стан-Комплект»; электромашиностроительный завод «Фирма СЭЛМА»; НПП «Микротех»; машиностроительный завод «ЭЛЕМ»; компания «ЗОНТ» (завод Автогенмаш); компания «Allfleth Engineering AG»; «Инженерно-технический центр «Автоматизация технологических процессов»; «Винницкая подшипниковая компания»; ТД «Галподшипник»; НПП «Интертек»; «КВК-Электро»; компания «Робур Интернейшнл»; Славутский ремонтно-механический завод; завод Техмаш; концерн «Укрросметалл»; ЧП «ЧИП»; ОАО «Южэлектромаш».

Центральным событием в рамках выставки **«СтанкоМаш Экспо 2005»** стала конференция «Передовые технологии в металлообработке». Мероприятие проводилось фирмой «Галика» при организационной поддержке Центра выставочных технологий. С докладами выступили специалисты из Германии, Швейцарии и России. В работе конференции приняли участие представители Одесской облгосадминистрации и горсовета, научных, учебных, проектно-исследовательских организаций и предприятий, а также ведущие специалисты отрасли из Києва, Одессы, Харкова и Севастополя.

Проведение выставки **«СтанкоМаш Экспо 2005»** внесло свой вклад в продвижение новейших технологий на украинский рынок, поиск новых путей развития отечественного производства, а также содействовало объединению научных достижений с практическим опытом.

# ДНЕПРОГЭС

Т. П. Мороз

**Задача преодоления днепровских порогов перед инженерами ставилась начиная с XVIII в. Тогда согласно указу Екатерины II французский инженер Франсуа де Волан и полковник Михаил Фалеев разработали проект каналов. Однако воплотить его в жизнь не удалось, начатое строительство не было закончено. Днепр не покорился человеку, река не стала судоходной, а от самих фалеевских каналов со временем остались только развалины.**

В 1824 г. вновь по поручению царского правительства инженер Шишов разработал проект каналов, однако в российском бюджете на этот раз не нашлось средств.

Позднее эксперты рассмотрели десятки проектов: инженеров Лесковича, Митрофанова, Моргуненко, Графтио, профессора Симоновича и др. С начала XX ст. уже ставилась задача использования Днепра в качестве мощного источника дешевой электроэнергии, однако все проекты так и не были осуществлены, ибо существовала угроза затопления имений великого князя Михаила Александровича и графа Стенбок-Фермора.

К вопросу строительства электростанции вернулись только в 1920 г., когда был разработан план ГОЭЛРО. Анализируя его, академик Г. М. Кржижановский особо подчеркнул среди 10 запланированных к сооружению значимость гидроэлектростанции (ГЭС) № 3 близ города Александровска (ныне Запорожье). Предполагалось, что мощность ее будет постепенно нарастать с 200 тыс. до 800 тыс. л. с. С введением гидростанции в эксплуатацию будут также решены проблемы, связанные с плавномерностью грузоперевозок по р. Днепр и

орошением более чем 200 тыс. десятин черноземных угодий.

В 1921 г. по поручению В. И. Ленина при Комитете государственных сооружений была создана проектно-изыскательская организация Днепрострой во главе с талантливым учеником академика Е. О. Патона академиком Иваном Гавриловичем Александровым. Тогда же было подписано Постановление Совета труда и обороны о ежегодной программе электростроительства, где главное внимание уделялось проведению изыскательских работ по сооружению ГЭС на Днепре.

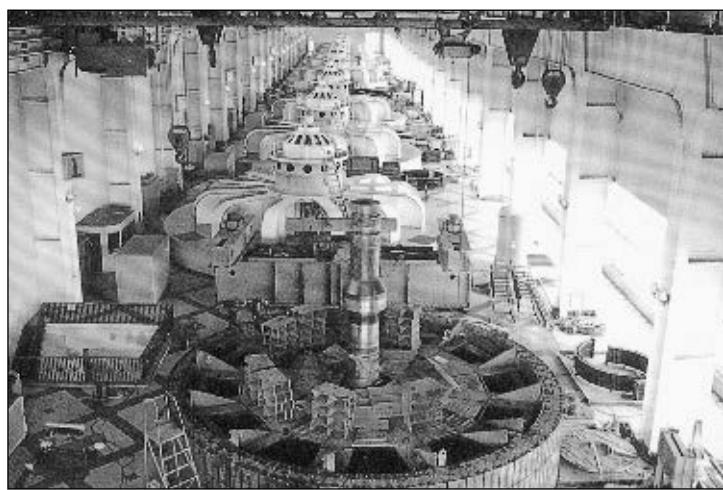
В 1925 г. академик И. Г. Александров завершил работу над проектом одноплотинной ГЭС и шлюза у о. Хортица, на участке, который назывался «Волчье горло». Проект Александрова в техническом и экономическом отношении был наилучшим из числа ранее просчитанных вариантов. О его невиданном размахе, продуманности и четкости говорили не только американские эксперты конкурирующей фирмы Х. Л. Купера, но и вся американская пресса. Проект включал одновременное сооружение плотины с гидростанцией и индустриального комбината на левом берегу, нового города с рядом высокотехнологичных заводов, в том числе и по производству алюминия, ранее не выпускавшегося в России.

Первой в марте 1927 г. в поселок Кичкас прибыла небольшая группа из 15 человек для сооружения жилья строителям, а на скале с романтичным названием «Любовь» был установлен красный флаг с надписью «Днепрострой», что стало началом великой стройки первой пятилетки.

Невиданно короткий организационный период и стремительный темп работ во многом обусловили колоссальные трудности, с которыми пришлось столкнуться в начале строительства: неэкономное расходование средств, переделки одних и тех же работ, десятки мелких и крупных аварий. Все это создавало значительную напряженность, но уже в ноябре 1927 г. в «первый бетон», в основание щитовой стенки плотины была заложена мемориальная доска.

Новые сложности возникли в процессе работ по подготовке котлованов плотины под бетонирование, когда выяснилось низ-

Машинный зал  
Днепрогэс  
им. В. И. Ленина, первая очередь



кое качество гранита: обилие валунов, большое количество трещин на глубину до 9 м. И. Г. Александрову, как когда-то его учителю Е. О. Патону при сооружении тбилисского моста, пришлось корректировать проект и объем работ — вместо запланированных 137 тыс. м<sup>3</sup> скальных пород вынуть 356 тыс. м<sup>3</sup>. Вторично корректировать проект Днепрогэса пришлось в апреле 1929 г., когда выяснилось, что в США вместо ранее запланированных 10 было заказано 9 более мощных современных турбогенераторов.

Трудно пришлось зимой 1929 г., когда морозы достигали минус 25 °С. При такой температуре предусматривалось прекращение работ, однако во избежание срыва графика бетонирования работа продолжалась.

Гигантская по тому времени бетонная плотина (длина 766 м, ширина у основания 40 м, высота 62 м) полукругом пересекала реку Днепр. Последний кубометр бетона был уложен в гребенку плотины 28 марта 1932 г. При ее сооружении со дна реки было поднято более 5 млн. м<sup>3</sup> земельно-скальных пород, переработанных в бетон для плотины. Невиданный по тому времени объем — более 1,2 млн. м<sup>3</sup> бетонных работ без машин и квалифицированной рабочей силы. Единственное средство механизации — «грабарки». На дне легендарного рукотворного озера им. Ленина упокоился солнный поселок колонистов Кичкас со стоявшим в самом центре громадным древним камнем, с отметками наивысшего подъема воды: разливы 1789 г., 1820 г., 1845 г., 1877 г. и 1908 г.

Первый агрегат дал ток 1 мая 1932 г. Все пять агрегатов запланированной первой очереди мощностью 310 тыс. кВт были запущены в эксплуатацию в октябре 1932 г. В мае 1933 г. завершилось строительство Днепровского шлюза, и через него прошел первый пароход «Софья Перовская».

Во время Великой Отечественной войны гитлеровцы замышляли полностью уничтожить плотину Днепрогэса, заложив в нее огромный заряд — 100 полутонных авиабомб и более 3 т толы. В результате героических действий советских воинов 3-го Украинского фронта плотина была спасена от полного разрушения, но гитлеровцы уничтожили все основное и энергетическое оборудование, оставив после себя руины. Государственный комитет обороны в феврале 1944 г. принял решение о срочном восстановлении Днепрогэса. В Запорожье прибыла первая группа инженерно-технического состава стройки, и начались восстанови-

тельные работы. Предстояло разобрать и вывезти 125 тыс. м<sup>3</sup> бетона и железобетона, 7,5 тыс. т металлоконструкций, 18 тыс. т искореженного оборудования, а затем вновь уложить 175 тыс. м<sup>3</sup> бетона и железобетона, изготовить и установить 8 тыс. т металлоконструкций, получить от заводов и смонтировать 18 тыс. т различного оборудования. История не знает подобных восстановительных работ. В короткий срок был изготовлен и смонтирован металлический 860-тонный мост через реку, позволивший значительно расширить общий фронт восстановительных работ.

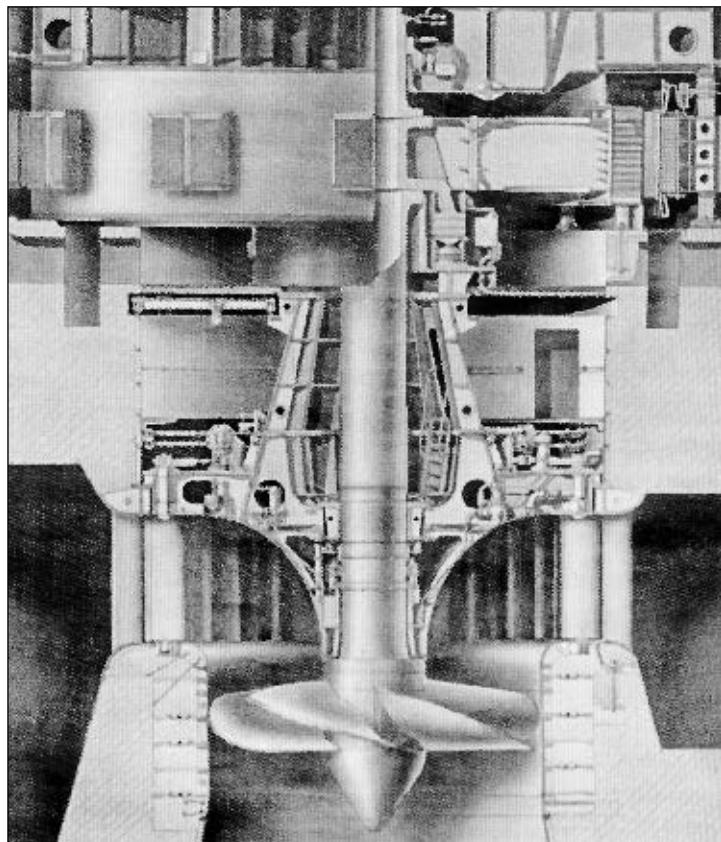
Впервые после пятилетнего перерыва в 1947 г. ожила машинный зал: 18 января состоялся пробный пуск первой турбины, а 3 марта был запущен первый агрегат. Пуск первого и второго агрегатов был сопряжен с самыми большими трудностями, так как это были первые из машин, полученных из США, и конструкция их устарела. Результатом поиска новых решений была разработка метода крупноблочной сборки третьего агрегата, параллельное ведение строительных и монтажных работ. Монтаж третьего агрегата по новому методу был завершен в рекордно короткий срок — за три месяца, и в ноябре 1947 г. был проведен пробный пуск.

С декабря 1948 г. начали входить в строй отечественные гидроагрегаты. Применялся щуховский метод работы: когда на одном из агрегатов заканчивали монтаж генератора, на втором шел монтаж турбины, на третьем вели бетонные работы и монтаж спиральной камеры, а на четвертом только еще разбирали завалы. В конце декабря этого года вошел в строй четвертый гидроагрегат, в 1949 г. былипущены пятый, шестой и седьмой, а в 1950 г. — восьмой и последний, девятый.

Днепрогэс не только восстановили, но и увеличили мощность с 560 до 650 тыс. кВт в основном благодаря применению нового типа рабочих колес турбин, разработанных конструкторами Ленинградского металлического завода (ЛМЗ). Таким образом, если до войны на Днепрогэсе все турбины были импортными, то при восстановлении станции были установлены шесть турбин, изготовленных ЛМЗ. Сравнительные испытания первого (американской поставки) и пятого (отечественного производства) гидроагрегатов показали, что у советского агрегата выше максимальная мощность и коэффициент полезного действия, проще схема управления.

В январе 1951 г. правительенная комиссия приняла Днепрогэс в постоянную эксплуатацию с общей хорошей оценкой, но отметила недоделки, дефекты конструкций и монтажа и утвердила к исполнению мероприятия по их устранению.

Начиная с 1954 г. стали довольно часто происходить повреждения обмоток статоров отечественных генераторов. В результате проверок было установлено, что одной из основных причин является слишком высокая (170–180 °C) температура в местах соединений стержней обмотки. Пайка, выполненная оловянным припоем, при таком нагреве разрушалась, что вызывало пробой главной изоляции. Были найдены интересные решения по системе охлаждения камеры, позволившие увеличить в полтора раза общее количество охлаждающего воздуха, причем основная часть



Днепрогэс им. В. И. Ленина, вторая очередь.  
Гидроагрегат с пропеллерной гидротурбиной

его приходилась на зону лобовых частей, что было особенно необходимо. Благодаря этому резко снизились температуры по всей высоте сердечника и обмоток генератора, особенно в местах пакетов. На гидроагрегате, где было наиболее неудовлетворительное состояние пакетов, полностью перепаяли все соединения стержней обмотки статора. Качество пакетов получилось очень хорошее, и этот генератор с 1957 г. до настоящего времени работает без нарушений пакетов.

С появлением в начале 1960-х гг. Кременчугского водохранилища резко изменился режим работы всего каскада днепровских ГЭС, в том числе и Днепрогэс. Увеличение выработки здесь было весьма значительным: если в 1951–1960 гг. средняя выработка в целом за год составляла 2,3 млрд. кВт·ч, то в 1961–1970 гг. — до 3,4 млрд. кВт·ч. В годы «большой воды» Днепрогэс работал на полную мощность, что не позволяло регулировать частоту и нагрузку. Встал вопрос об увеличении мощности Днепрогэса путем строительства второго здания ГЭС и второй очереди шлюза. В 1970 г. работы по сооружению Днепрогэс-2 были начаты.

В связи с тем, что станцию необходимо было сооружать в уже готовой плотине на крайне ограниченной территории, условия

работы были очень сложными. Немало трудностей пришлось преодолеть строителям Днепрогэс-2 при работах на водоводах, организации взрывов в котловане под основание электростанции, при организации транспортных перевозок и, в частности, при перевозке 200-тонного трансформатора через сравнительно слабые временные мостовые переходы и др.

Первый бетон в основание здания ГЭС был заложен уже в апреле 1972 г., а к концу 1974 г. были введены в действие первые три гидроагрегата Днепрогэс-2. Через год были пущены в эксплуатацию еще три агрегата. Пуск оставшихся двух из намеченных восьми задержался, поскольку на седьмом и восьмом агрегатах предполагалось установить уникальные генераторы высокого напряжения, которые так и не были доведены до конца. На последних двух агрегатах в 1980 г. были установлены такие же генераторы, как и на первых шести. Таким образом, к 1981 г. Днепрогэс-2 имел в своем составе два гидроагрегата мощностью по 104,5 МВт и шесть по 113,1 МВт, а общая мощность электростанции превысила 1,5 млн. кВт.

Первые две турбины Днепрогэс-2 были поворотно-лопастными, а последующие шесть — пропеллерного типа. Результаты эксплуатации показали, что экономический эффект от внедрения шести пропеллерных гидротурбин составил 21 млн. руб. Было решено, что первые две турбины следует также преобразовать в пропеллерные, тем более что при этом ликвидируются утечки масла в Днепр. На рабочих колесах этих турбин лопасти были заклинены под углом, соответствующим их номинальной мощности. Так, все восемь агрегатов Днепрогэс-2 сейчас работают с турбинами пропеллерного типа только с нагрузками, равными их номинальной мощности.

Ввод Днепрогэс-2 позволил в значительной степени увеличить использование водно-энергетических ресурсов Днепра. За 10 лет было получено около 6 млрд. кВт·ч дополнительной электроэнергии. Опыт установки и работы пропеллерных турбин вполне себя оправдал. После сооружения Днепрогэс-2 появилась возможность регулировать график нагрузки при мощности сначала более 1,3 млн., а затем более 1,5 млн. кВт, что, безусловно, имело колоссальное значение для улучшения работы не только Днепровской, но и Объединенной южной энергосистемы.

● #603