



УДК 621.791.3.05:620.17:669.6

ПАЙКА АЛЮМИНИДА ТИТАНА БЫСТРОЗАКАЛЕННЫМИ ЛЕНТАМИ

С. В. Максимова, В. Ф. Хорунов

Представлены результаты исследований структурного состояния быстроокаленных лент на базе системы Ti-Zr-Fe-(B), полученных с помощью быстрого охлаждения расплава. Изучены особенности формирования паяных соединений алюминидов титана, выполненных с использованием высокотемпературной вакуумной пайки и быстроокаленных лент.

Results of investigations of structural state of rapidly-hardened foils on the base of Ti-Zr-Fe-(B) system, produced by a rapid cooling of melt, are presented. Peculiarities of formation of titanium aluminide brazed joints, made using a high-temperature vacuum brazing and rapidly-hardened strips are studied.

Ключевые слова: быстроокаленные припои; структура; пайка; шов; интерметаллидный сплав; алюминид титана

Под термином быстроокаленные сплавы подразумеваются сплавы, полученные путем быстрого охлаждения расплава (закалки) или конденсации из паровой фазы. Критическая скорость охлаждения является количественным критерием устойчивости переохлажденного расплава и определяет температурно-временные условия подавления процесса кристаллизации.

Быстроокаленные сплавы могут отличаться от литых высококодисперсной дендритной, микрокристаллической и аморфной структурой, в зависимости от технологических параметров их получения.

Особенностями быстроокаленных микрокристаллических сплавов является образование метастабильных промежуточных фаз [1]. При высоких скоростях охлаждения сплавов, содержащих интерметаллические соединения, отмечена склонность к подавлению зародышеобразования, что позволяет получать аморфное состояние без так называемых аморфизаторов (фосфор и бор).

Быстроокаленные сплавы характеризуются высокой степенью химической однородности, пластичности, коррозионной стойкости, малыми толщинами и другими уникальными свойствами. Способ сверхбыстрой закалки позволил получать из хрупких сплавов пластичные гомогенные фольги [2].

Раньше эти сплавы использовали в качестве припоев только в виде порошка, для чего требовалось применение связующего вещества. Это усложняло технологический процесс пайки. Припой с аморф-

ной структурой можно использовать в виде закладных элементов любой формы. Химическая однородность припоя обеспечивает равномерное плавление припоя по объему.

Высокая степень структурного беспорядка и дефектность [3] способствуют большой диффузионной подвижности атомов и хорошему смачиванию паяемой поверхности, что в свою очередь создает благоприятные условия при кристаллизации паяных швов, приводит к отсутствию дефектов и обеспечивает оптимальную прочность соединений.

Широкое применение в промышленности для пайки нашли припои с аморфной структурой следующих систем: Ni-Cr-Si-B (для нержавеющей сталей); Ti-Cu-Ni, Ti-Zr-Cu-Ni (для титана и его сплавов); Cu-Ni-Sn-P (для меди и ее сплавов).

Получать аморфное состояние припоев на базе системы Ni-Cr позволило введение небольших количеств элементов-аморфизаторов: бора и кремния. К числу металлических объемно-аморфизирующих материалов относятся сплавы систем Ti-Cu-Ni, Ti-Zr-Cu-Ni, Zr-Ti-Ni, Cu-Zr-Ti, в которых в кристаллическом состоянии присутствуют интерметаллические соединения TiCu, Zr₂Cu, ZrCu_{3,6} и ZrCu с тройной фазой Лавеса TiZrCu₄ [4]. Однако для высокотемпературного применения желательно использовать припой, не содержащие медь.

В данной работе представлены результаты исследований быстроокаленных припоев на базе системы Ti-Zr-Fe-(B), полученных способом спиннингования расплава, а также соединений алюминидов титана, выполненных этими припоями.

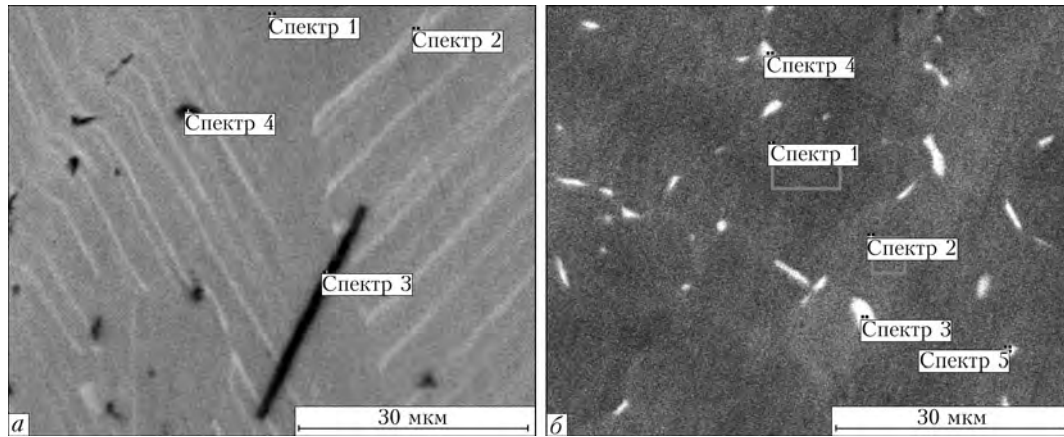


Рис. 1. Микроструктура паяемых интерметаллидных сплавов: а – 48XD; б – 4822

Для проведения экспериментов сплавы выплавляли в вакуумной печи с помощью дугового нагрева. Плавку осуществляли на медном водоохлаждаемом кристаллизаторе с обязательным переворачиванием слитков 2... 5 раз для усреднения химического состава. Полученные слитки размещали в вакуумной камере, расплавляли в очищенном аргоне (гелии), создавали избыточное давление ($1,8 \cdot 10^5$ Па), с помощью которого выдавливали струю металла на внешнюю поверхность медного диска-барабана, вращающегося с заданной скоростью (не более 40 м/с).

Скорость закалки регулировали в широких пределах путем варьирования линейной скорости вращения барабана в сочетании с геометрией сопла, через которое выдавливается жидкий металл, давления над расплавом, расстояния от сопла к поверхности барабана.

Полученную быстрозакаленную ленту припоя размещали между соединяемыми образцами алюминид титана, пайку проводили в вакуумной печи с применением радиационного нагрева при температуре 1150 °С в течение 60 мин. Металлографические исследования осуществляли с помощью оптической и электронной растровой микроскопии.

Для проведения экспериментов в качестве паяемого материала использовали интерметаллидные сплавы гама-титана двух марок: 48XD, полученного способом порошковой металлургии (рис. 1, а) и 4822 (рис. 1, б), изготовленного традиционными способами литья, в частности электронно-лучевой плавки (рис. 1, б).

Химический состав структурных составляющих паяемых материалов						
Исследуемый № спектра	Атомная доля элементов, %					
	Ti	Al	Mn	Nb	B	Cr
<i>Сплав 48XD</i>						
1	48,00	48,65	1,51	1,85	0	–
2	53,25	42,74	1,94	2,07	0	–
3	22,52	5,54	0,18	0,74	71,02	–
4	25,18	7,04	0,29	0,82	66,67	–
<i>Сплав 4822</i>						
1	48,89	47,70	–	1,61	–	1,80
2	49,36	47,54	–	1,52	–	1,57
3	54,49	34,33	–	1,87	–	9,31
4	52,87	38,47	–	1,96	–	6,70
5	51,22	43,36	–	1,70	–	3,72

Сплавы достехиометрического состава Ti–(46–49) Al расположены в двухфазной ($\alpha_2 + \gamma$) области, где α_2 -фаза представлена интерметаллидом Ti_3Al , а γ -фаза – интерметаллидом TiAl

Рассматриваемые сплавы содержат одинаковую атомную долю алюминия (48... 49 %), но морфология их структурных составляющих несколько отличается. В сплаве 48XD (Ti–45Al–2Nb–2Mn–0,8 TiB₂) на фоне

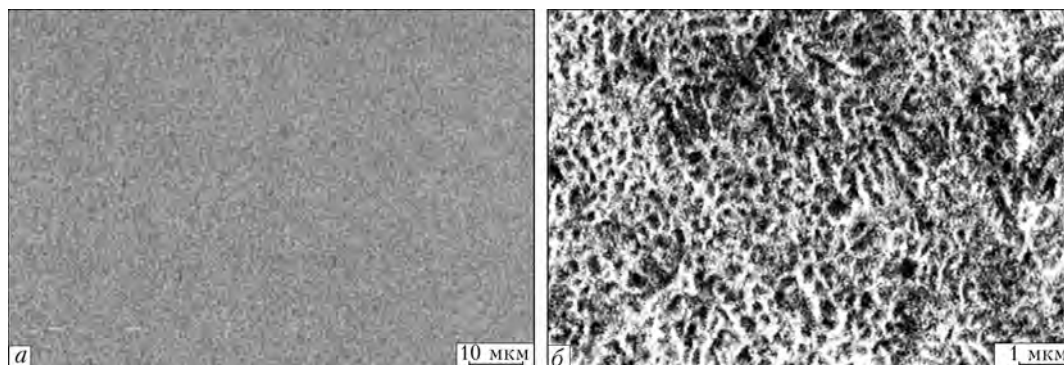


Рис. 2. Микроструктура применяемого припоя системы Ti–Zr–Fe в быстрозакаленном состоянии до (а) и после (б) травления

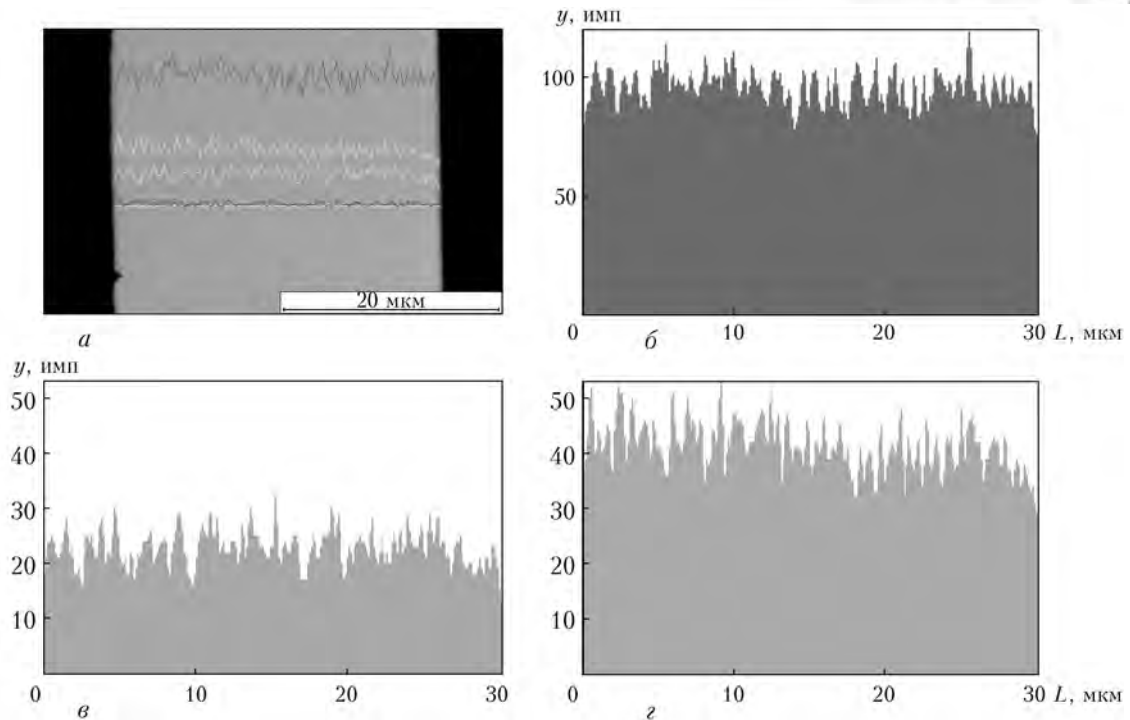


Рис. 3. Исследуемый участок быстрозакаленной ленты Ti-Fe-Zr в отраженных электронах (а) и качественное распределение титана (б), железа (в) и циркония (г) по ее ширине; y — количество импульсов; L — длина исследуемого участка

ламелльной структуры γ -TiAl и α_2 -фазы кристаллизуются иглоподобные бориды, атомная доля бора в них составляет 66,67... 71,02 % (таблица).

Следует отметить, что в исходном состоянии в литом сплаве 4822 (Ti-48Al-1,6Nb-2Cr) ламелльная структура отсутствует, но обнаружены дисперсные частицы α_2 -фазы (белого цвета), содержащие увеличенное количество хрома (рис. 1, б).

Используемые припои в виде быстрозакаленных лент характеризуются однородной стекловидной структурой (рис. 2, а) как для сплава Ti-Zr-Fe, так и для сплавов системы Ti-Zr-Fe-B. В некоторых участках зафиксированы дискретные несплошности ленты в виде перфорированных участков. После травления ленты проявляется ячеистая ультрадисперсная структура сплава Ti-Zr-Fe (рис. 2, б),

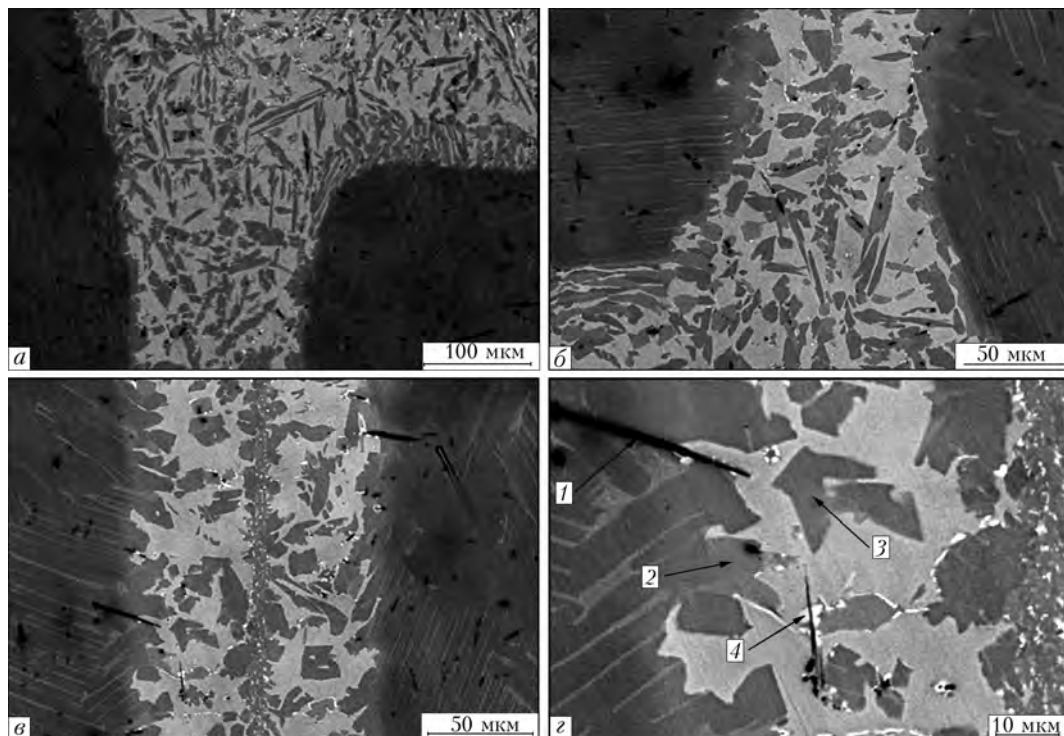


Рис. 4. Прямая (а) и обратная (б) галтели паяного соединения сплава 48XD, полученного с помощью припоя Ti-13,1Zr-24,7Fe-5B, а также микроструктура паяного шва (в, г); 1 — бориды; 2 — светло-серое зерно; 3 — темно-серое зерно; 4 — белая ультрадисперсная фаза

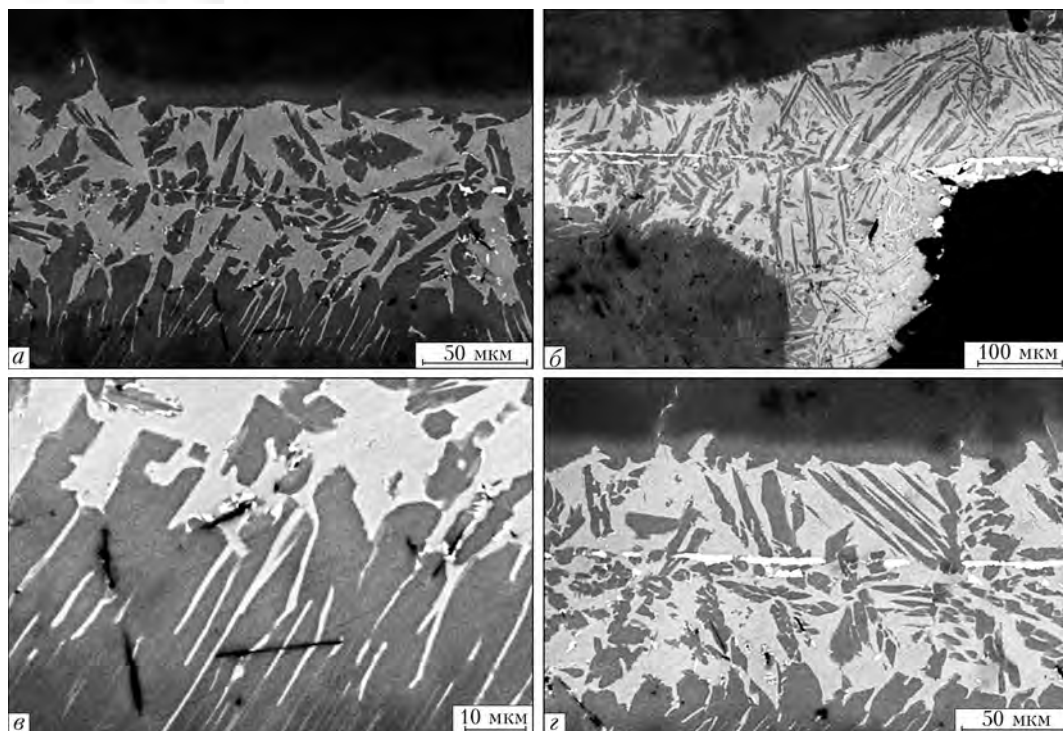


Рис. 5. Микроструктура паяного соединения интерметаллидных сплавов 4822 и 48XD, полученных с использованием припоя Ti-13,4Zr-24,4Fe-2,5B

для изучения которой требуется высокоразрешающее оборудование.

Все составляющие химические элементы припоя распределены по ширине быстрозакаленной ленты равномерно (рис. 3), кроме циркония, количество которого понижается на внешней поверхности ленты, контактирующей с воздухом.

Отличительной чертой паяных соединений интерметаллидного сплава 48XD, полученных с использованием высокотемпературной вакуумной пайки и припоя на базе системы Ti-Zr-Fe, содержащего бор (не более 2,5 ат. %), является хорошее смачивание и растекание по гамма-алюминиду, а также наличие с двух сторон полных галтелей (рис. 4, а, б).

Присутствие бора в паяемом материале и припое способствует формированию единичных боридных иглообразных выделений в приграничной зоне основного металла и паяного шва (рис. 4, в, г).

В металле паяного шва на фоне светлой матрицы состава 57,08Ti-31,16Al-5,16Fe-2,21Zr-2,3Nb кристаллизуются темно-серые зерна, содержащие около 43 ат. % алюминия. В светло-серых зернах атомная доля алюминия понижается до 28... 35 %.

В соответствии с диаграммами состояния [5], можно предположить, что кристаллизуются зерна соответственно фаз TiAl и Ti₃Al. В паяном шве изредка обнаруживаются дискретные ультрадисперсные выделения светлой фазы размером приблизительно 1 мкм и меньше, в которых атомная доля алюминия понижается до 28 %, а циркония — не превышает 2,67 %.

При пайке интерметаллидных сплавов гамма-алюминид титана двух марок (48XD и 4822) между собой, отличающихся способом получения, струк-

тура металла швов практически аналогична таковой предыдущего образца.

Со стороны сплава 4822 обнаружена гладкая линия раздела, вдоль шва в виде полосы кристаллизуется фаза, химический состав которой аналогичен составу основного материала и содержит около 45 % алюминия.

Иногда встречаются участки, в которых металл матрицы шва, имеющий 33 ат. % алюминия и около 1 ат. % хрома, проникает в глубину сплава примерно на 25 мкм (рис. 5, а). Формируются достаточно полные галтельные участки (рис. 5, б).

Со стороны гамма-алюминид титана марки 48XD зафиксирована типичная картина направленного роста пластинчатых формирований двух фаз TiAl и Ti₃Al, которые зарождаются на подложке основного металла и растут в сторону сплава марки 4822 (рис. 5, в).

Ширина шва одинаковая при использовании этих двух припоев. Она составляет около 125 мкм и определяется шириной ленты. Понижение массовой доли бора от 1,0 до 0,5 % в припое не оказывает существенного влияния на формирование паяных соединений.

Следует отметить, что игловидные бориды кристаллизуются только в приграничной ко шву зоне сплава 48XD (рис. 5, в). При формировании паяного шва со стороны галтельного участка по оси отмечена кристаллизация прерывистых нитевидных выделений светлой фазы, содержащей около 2 ат. % циркония (рис. 5, г).

Такое прерывистое выделение данной фазы предпочтительнее сплошной полосы и не нарушает целостность и плотность паяного шва, а также галтельного участка.



Выводы

1. Установлено, что быстрозакаленные ленты на базе системы Ti-13Zr-24Fe-(2,5-5)В характеризуются микрокристаллической структурой с равномерным распределением составляющих химических элементов по ширине ленты.

2. Показано, что применение припоев в виде быстрозакаленной ленты на базе системы Ti-Zr-Fe-B для пайки интерметаллидных сплавов 48XD (Ti-45Al-2Nb-2Mn-0,8 TiB₂) и 4822(Ti-48Al-1,6Nb-2Cr) обеспечивает формирование плотных паяных швов и галтельных участков. При пайке интерметаллидного сплава 48XD, содержащего TiB₂ (в однородном сочетании), кристаллизация боридов в виде дискретных иглообразных выделений обнаружена не только в основном металле 48XD, но и в зоне паяного шва, примыкающего к основному материалу.

3. Определено, что при пайке интерметаллидных сплавов 48XD и 4822 между собой бориды выделяются только в приграничной к шву зоне паяемого материала 48XD.

4. Отмечено, что при использовании для пайки интерметаллидных титановых сплавов быстрозака-

ленных припоев системы Ti-Zr-Fe-(B), не содержащих алюминий, шов насыщается алюминием паяемого материала благодаря высокой диффузионной подвижности последнего, и при охлаждении кристаллизуются фазы, близкие по составу к основному материалу.

1. *Фаткулин О. Х.* Современное состояние металловедения быстрозакаленных жаропрочных сплавов // Технология легких сплавов. — 2005. — № 1. — 4. — С. 24–31.
2. *Хорунов В. Ф., Максимова С. В.* Аморфные припой — перспективный материал для современных технологических процессов пайки // Автомат. сварка. — 2005. — № 10. — С. 35–40.
3. *Исследование воздействия потока гамма-квантов на аморфные сплавы TiNi-TiCu* / Н. М. Матвеева, А. А. Клопотов, В. А. Плотников и др. // Металлы. — 1997. — № 6. — С. 109–112.
4. *Ковнеристый Ю. К.* Объемно-аморфизирующиеся металлические сплавы. — М.: Наука, 1999. — 80 с.
5. *Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник*: в 3 т. Т. 2 / Под ред. Н. П. Лякишева. — М.: Машиностроение, 1997. — 1024 с.

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев

Поступила 16.07.2010

**8-я МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ
ВЫСТАВКА МЕТАЛЛООБРАБОТКА. УРАЛ/UralMetalExpo**

**2-я МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ
ВЫСТАВКА СВАРКА. УРАЛ/UralWeldExpo**



**12–14 апреля 2011 г.
г. Екатеринбург**

Тематика выставки

- Металлорежущее оборудование
- Кузнечно-прессовое оборудование
- Литейное оборудование
- Сварочное оборудование. Специальные методы в сварке
- Оборудование, инструменты, материалы, технологии для обработки поверхностей и нанесения покрытий
- Инструменты станочные: металлорежущие, абразивные, резбонарезные и др.
- Контрольно-измерительные машины, приборы и инструменты
- Комплектуемые узлы и изделия, в том числе системы ЧПУ, гидравлические и пневматические системы, электродвигатели
- Подшипники. Технологическая оснастка. Материалы для металлообработки
- Автоматизированные системы управления технологическими процессами и производством, промышленная автоматизация. Роботы, системы и компоненты, информационные технологии
- Ретрофитинг и модернизация оборудования. Лизинг
- Субконтрактация
- Инвестиционные и инновационные проекты, технологические и конструкторские разработки, профильное образование

www.uralexpotool.ru